

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PATRÍCIA CRISTINA STEFFEN

Agrupamento de cheias históricas

CURITIBA - PR

2017

PATRÍCIA CRISTINA STEFFEN

Agrupamento de cheias históricas

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Gomes

CURITIBA - PR

2017

S816

Steffen, Patrícia Cristina

Agrupamento de cheias históricas. / Patrícia Cristina Steffen. – Curitiba, 2017.

178 f.: il.; tabs. : color. : 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Gomes

Bibliografia: p.143-148.

1. Catástrofes naturais. 2. Inundações. I. Universidade Federal do Paraná. II. Gomes, Júlio. III. Título.

CDD 363.35





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor TECNOLOGIA
Programa de Pós Graduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL
Código CAPES: 40001016021P0

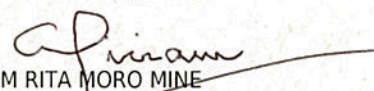
TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **PATRICIA CRISTINA STEFFEN**, intitulada: "**Agrupamento de cheias históricas**", após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

Curitiba, 07 de Março de 2017.


JULIO GOMES
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


ELOY KAVISKI
Avaliador Interno (UFPR)


MIRIAM RITA MORO MINE
Avaliador Interno (UFPR)

(por video conferência)
EDUARDO MARIO MENDIONDO
Avaliador Externo (USP)


Prof. Cristóvão S. Fernandes
Dep. de Hidráulica e Saneamento
Mat. UFPR 123226

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pelas oportunidades e bênçãos a mim concedidas.

Aos meus pais, Ana Lúcia e Wilson, pelo incentivo diário e confiança em mim depositada.

À minha irmã, Ana Paula, sempre ouvinte e disposta a ajudar.

A quem acompanhou de perto os melhores e piores momentos, por apoiar e incentivar, pela paciência, e pelas dicas de programação: Luan.

Aos amigos da sala de estudos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), pelo convívio diário, pelos incentivos nas horas difíceis e pelos momentos de descontração.

Aos professores do PPGERHA, que, de alguma forma, participaram desta conquista, em especial ao Prof. Dr. Júlio Gomes, pela orientação, paciência e tempo dispendido.

À Companhia Paranaense de Energia (COPEL), em nome da Engenheira Camila Freitas, pela disponibilização do programa computacional utilizado em partes deste trabalho, e de materiais de consulta, importantes para o melhor entendimento da região de estudo.

À Sociedade de Estudos Contemporâneos – Comissão Regional Permanente de Prevenção Contra Enchentes do Rio Iguaçu (SEC-CORPRERI), em nome de Dago Woehl, pela disponibilização de materiais de pesquisa importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo, durante todo o período do mestrado.

RESUMO

Sejam por causas naturais, como os eventos hidrológicos atípicos, ou por ação humana, as cheias têm se tornado cada vez mais frequentes. No Brasil, existem áreas que sofrem com a repetição destes desastres, como é o caso de União da Vitória, no Estado do Paraná. Este tipo de fenômeno natural pode causar inúmeros danos à sociedade, desde perdas humanas até prejuízos financeiros, e, como não é possível evitar a ocorrência de fenômenos críticos, procura-se diminuir os seus impactos. Neste cenário se insere o agrupamento de cheias, visando estabelecer conjuntos de eventos com características semelhantes para, posteriormente, estudar os seus mecanismos de formação e contribuir para a diminuição das consequências provocadas pelas cheias. Dentro deste contexto, o presente estudo utiliza o algoritmo *fuzzy c-means* como método de agrupamento de cheias, que permitiu classificar os 85 eventos máximos anuais de cheia no rio Iguaçu, observadas na cidade de União da Vitória no Estado do Paraná, no período de 1931 a 2015, em quatro grupos distintos: grupos de severidade baixa, média e alta, e grupo de eventos catastróficos.

Palavras-chave: Agrupamento de cheias. Indicadores de cheias. Intensidade de cheias. Lógica difusa. *Fuzzy c-means*.

ABSTRACT

Being from natural causes, as atypical hydrological events or by human actions, floods have become more frequent. In Brazil, there are areas that suffer from the repetition of these disasters, like the city of União da Vitória, in the state of Parana. This kind of natural phenomenon can cause many damages to society, from human to financial losses and, once it is not possible to avoid the occurrence of critical phenomena, it is necessary to reduce their impacts. The flood clustering is included in this scenario, trying to determine clusters of events with similar characteristics to, subsequently, study its formation mechanisms and contribute to the reduction of the consequences caused by them. In this context, the present study uses the fuzzy c-means algorithm as the method for flood clustering, which allowed classifying the 85 annual maximum flood events in the Iguaçu River, observed in the city of União da Vitória, in the state of Paraná, from 1931 to 2015, in 4 distinct clusters: Low, Middle and High severity groups, and Catastrophic Events group.

Keywords: Flood clustering. Flood indicators. Flood intensity. Fuzzy logic. Fuzzy c-means.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1.	Desastres naturais ocorridos no Brasil de 1980 a 2014.....	27
Figura 2.2.	Caracterização dos leitos de escoamento de rios.....	29
Figura 2.3.	Diferença entre inundações bruscas e graduais	40
Figura 2.4.	Hierarquia dos tipos de agrupamento	44
Figura 3.1.	Localização geográfica do município de União da Vitória.....	55
Figura 3.2.	População de União da Vitória, de 1922 a 2015.....	56
Figura 3.3.	Produto Interno Bruto de União da Vitória, de 2010	57
Figura 3.4.	Localização de União da Vitória, no trecho médio da bacia do Iguaçu	58
Figura 3.5.	Classificação climática segundo Köppen	59
Figura 3.6.	Família de curvas de descarga da estação fluviométrica União da Vitória (65310000).....	63
Figura 3.7.	Parâmetros para o cálculo do instante de início de extravasamento ...	68
Figura 3.8.	Parâmetros para o cálculo do instante de fim de extravasamento.....	68
Figura 3.9.	Estimativa do volume extravasado	71
Figura 3.10.	Volumes extravasados em eventos com mais de um período acima do limiar de extravasamento	73
Figura 3.11.	Instantes de tempo do hidrograma de cheia	74
Figura 3.12.	Instantes e trecho considerados no cálculo do tempo entre o início do evento e a primeira ultrapassagem do limiar de extravasamento	75
Figura 4.1.	Variação de vazões anuais da estação fluviométrica União da Vitória (6531000).....	89
Figura 4.2.	Vazões máximas da estação fluviométrica União da Vitória (65310000) e limiar de extravasamento	90
Figura 4.3.	Níveis de água máximos anuais na estação fluviométrica União da Vitória (65310000) e limiar de extravasamento.....	92
Figura 4.4.	Hidrograma de 1970	95
Figura 4.5.	Evento de cheia na transição de 1970 para 1971	95
Figura 4.6.	Hidrograma de 1980	96
Figura 4.7.	Evento de cheia na transição de 1980 para 1981	97
Figura 4.8.	Volumes totais extravasados	100
Figura 4.9.	Tempos acima do limiar de extravasamento	102

Figura 4.10. Tempos entre início do evento e ultrapassagem do limiar de extravasamento	103
Figura 4.11. Taxas médias de ascensão do hidrograma de cheia	105
Figura 4.12. Taxas médias de recessão do hidrogramas de cheia	106
Figura 4.13. Máximos valores da matriz de partição difusa para $K = 2$	113
Figura 4.14. Máximos valores da matriz de partição difusa para $r = 1,25$	113
Figura 4.15. Agrupamento dos dados do exemplo de duas dimensões, apresentado em Bezdek <i>et al.</i> (1983), para $K = 2$ e $r = 1,25$	114
Figura 4.16. Convergência dos centróides do agrupamento dos dados do exemplo de duas dimensões, apresentado em Bezdek <i>et al.</i> (1983), para $K = 2$ e $r = 1,25$	115
Figura 4.17. Máximos valores da matriz de partição difusa obtida no exemplo genérico de três dimensões, para $K = 3$	120
Figura 4.18. Máximos valores da matriz de partição difusa obtida no exemplo de três dimensões, para $r = 1,25$	121
Figura 4.19. Agrupamento dos dados obtido no exemplo de três dimensões, para $K = 3$ e $r = 1,25$	123
Figura 4.20. Convergência dos centróides do agrupamento obtida no exemplo de três dimensões, para $K = 3$ e $r = 1,25$	124
Figura 4.21. Máximos graus de aderência dos eventos aos grupos	129
Figura 4.22. Variação das coordenadas dos centróides gerados no agrupamento, para $K = 4$ e $r = 1,25$	131
Figura 4.23. Níveis de severidade dos grupos obtidos a partir do método <i>fuzzy c-means</i>	132
Figura 4.24. Subdivisão da vazão máxima a partir do grupos formados	135
Figura 4.25. Subdivisão dos níveis de água máximos a partir do grupos formados	136
Figura 4.26. Subdivisão dos volumes totais extravasados a partir do grupos formados	136
Figura 4.27. Subdivisão do tempo acima do limiar de extravasamento a partir dos grupos formados	137
Figura 4.28. Subdivisão do tempo decorrido entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento	137

Figura 4.29. Subdivisão de taxa média de subida do hidrograma de cheia a partir dos grupos formados	138
Figura 4.30. Subdivisão de taxa média de recessão de cheia a partir dos grupos formados	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.	Classificação dos desastres naturais.....	27
Tabela 2.2.	Causas de inundações	30
Tabela 2.3.	Classificação de danos decorrentes de inundações	33
Tabela 2.4.	Classificações e exemplos de medidas estruturais.....	35
Tabela 2.5.	Definições de inundações graduais	38
Tabela 2.6.	Definições de inundações bruscas	39
Tabela 4.1.	Preenchimento de falhas de níveis de água na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800).....	86
Tabela 4.2.	Vazões mínimas, máximas e médias anuais da estação fluviométrica União da Vitória (65310000)	88
Tabela 4.3.	Níveis de água máximos anuais na estação fluviométrica União Vitória (65310000).....	91
Tabela 4.4.	Ranqueamento de maiores cheias observadas na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), no período de 1931 a 2015.....	92
Tabela 4.5.	Data dos picos dos eventos selecionados	94
Tabela 4.6.	Data dos picos dos eventos selecionados (continuação)	95
Tabela 4.7.	Período de ocorrência e duração dos maiores eventos de cada ano ..	97
Tabela 4.7.	Período de ocorrência e duração dos maiores eventos de cada ano (continuação)	98
Tabela 4.8.	Volumes totais extravasados	100
Tabela 4.9.	Tempos acima do limiar de extravasamento	101
Tabela 4.10.	Tempos decorridos entre início do evento e ultrapassagem do limiar de extravasamento.....	102
Tabela 4.11.	Tempos decorridos entre início do evento e ultrapassagem do limiar de extravasamento (continuação)	103
Tabela 4.12.	Taxas médias de ascensão no trecho entre o início da onda de cheia e o instante de extravasamento	104
Tabela 4.13.	Médias taxas de decaimento da onda de cheia	106
Tabela 4.14.	Posições dos maiores eventos, de acordo com os diferentes indicadores	107
Tabela 4.15.	Matriz de correlação dos indicadores de cheia	109

Tabela 4.16. Dados de entrada do exemplo genérico de duas dimensões	110
Tabela 4.17. Parâmetros resultantes da implementação do método <i>fuzzy c-means</i> ao exemplo genérico de duas dimensões, apresentado em Bezdek <i>et al.</i> (1983).....	111
Tabela 4.18. Matriz de partição difusa para $K = 2$ e $r = 1,25$	114
Tabela 4.19. Grupos formados no exemplo de duas dimensões, apresentado em Bezdek <i>et al.</i> (1983), para $K = 2$ e $r = 1,25$,	114
Tabela 4.20. Centróides dos grupos formados pelo exemplo de duas dimensões, apresentado em Bezdek <i>et al.</i> (1983), para $K = 2$ e $r = 1,25$	115
Tabela 4.21. Parâmetros resultantes da aplicação da função <i>fcm</i> ao exemplo genérico de duas dimensões, apresentado em Bezdek <i>et al.</i> (1983)	116
Tabela 4.22. Matriz de partição difusa final para $K = 2$ e $r = 1,25$	117
Tabela 4.23. Resultados das funções objetivo nas simulações realizadas, para $K = 2$ e $r = 1,25$	117
Tabela 4.24. Dados de entrada do exemplo genérico de três dimensões	118
Tabela 4.25. Parâmetros resultantes da aplicação do método <i>fuzzy c-means</i> ao exemplo genérico de três dimensões.....	119
Tabela 4.26. Matriz de partição difusa obtida no exemplo de três dimensões, para $K = 3$ e $r = 1,25$	122
Tabela 4.27. Grupos formados obtidos a partir do exemplo de três dimensões, para $K = 3$ e $r = 1,25$	123
Tabela 4.28. Centróides dos grupos obtidos com o exemplo de três dimensões, para $K = 3$ e $r = 1,25$	123
Tabela 4.29. Parâmetros resultantes da aplicação da função <i>fcm</i> ao exemplo genérico de três dimensões	125
Tabela 4.30. Resultados dos parâmetros de determinação do número de grupos e do parâmetro de incerteza ideais	127
Tabela 4.31. Minimização da função objetivo, $K = 4$ e $r = 1,25$	128
Tabela 4.32. Agrupamento dos dados para $K = 4$ e $r = 1,25$	128
Tabela 4.33. Coordenadas não normalizadas dos centroides dos grupos, para $K = 4$ e $r = 1,25$	130
Tabela 4.34. Valores normalizados dos centroides dos grupos, para $K = 4$ e $r = 1,25$	131

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGNES = *Agglomerative Nesting*;

CEHPAR = Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza;

CENACID = Centro de Apoio Científico em Desastres da UFPR;

CLARA = *Clustering Large Applications*;

CONPDEC = Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil;

COPEL = Companhia Paranaense de Energia;

DIANA = *Divisive Analysis*;

EM-DAT = *Emergency Disasters Data Base*;

fcm = *fuzzy c-means*;

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

IPT = Instituto de Pesquisas Tecnológicas

MIN = Ministério da Integração Nacional;

MONA = *Monethic Analysis*;

PAM = *Partitioning Around Medoid*;

PIB = Produto Interno Bruto;

SEMA = Secretária do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos;

SINPDEC = Sistema Nacional de Proteção e Desastres Naturais;

SMA = Sistema de Monitoramento Agrometeorológico;

SOFM = *Self-organizing Feature Map*;

SVM = *Support Vector Machine*;

USACE = *U. S. Army Corps of Engineers*;

LISTA DE SÍMBOLOS

- $h_{i, UV}$ = nível de água conhecido em União da Vitória, correspondente à i -ésima falha em Porto Vitória (m);
- $p_{i, UV}$ = permanência do i -ésimo nível de água em União da Vitória (%);
- $p_{i, PV}$ = permanência do i -ésimo nível de água em Porto Vitória (%);
- $h_{i, PV}$ = nível de água estimado em Porto Vitória, correspondente à i -ésima falha em Porto Vitória (m);
- Q_{sup} = vazão lida imediatamente superior à vazão de referência (m^3/s);
- Q_{inf} = vazão lida imediatamente inferior à vazão de referência (m^3/s);
- Q_{ref} = vazão de referência, igual a $1.387 m^3/s$;
- t_{sup} = instante de vazão lida imediatamente superior à vazão de referência;
- t_{inf} = instante de vazão lida imediatamente inferior à vazão de referência;
- t_{ext} = instante de extravasamento ou instante com vazão igual a $1.387 m^3/s$;
- $Q_{máx}$ = vazão pico (m^3/s);
- I_1 = vazão máxima anual (m^3/s);
- I_2 = nível de água máximo anual (m);
- I_3 = volume total extravasado (m^3);
- I_4 = tempo acima do limiar de extravasamento (dias);
- I_5 = tempo entre início do evento e ultrapassagem do limiar de extravasamento (dias);
- I_6 = taxa média de ascensão do hidrograma de cheia ($m^3/s/dia$);
- I_7 = taxa média de decaimento do hidrograma de cheia ($m^3/s/dia$);
- t_{e0} = instante de início do extravasamento do hidrograma de uma cheia;
- t_{ef} = instante de fim do extravasamento do hidrograma de uma cheia;
- $t_{eff(i)}$ = instante do fim do extravasamento do i -ésimo período acima do limiar de extravasamento do pico do hidrograma de cheia;
- $t_{e0(i)}$ = instante do início do extravasamento do i -ésimo período acima do limiar de extravasamento do pico do hidrograma de cheia;
- V_i = volume extravasado no i -ésimo período acima do limiar de extravasamento do hidrograma de cheia (m^3);
- n = número total de períodos acima do limiar de extravasamento do hidrograma de cheia;

Q_j = vazão no início do intervalo de tempo $\Delta t_{j,i}$ (m^3/s);
 Q_{j+1} = vazão ao final do intervalo de tempo $\Delta t_{j,i}$ (m^3/s);
 $\Delta t_{j,i}$ = intervalo de tempo no j -ésimo trecho do i -ésimo período acima do limiar de extravasamento do hidrograma de cheia (s);
 m = número de intervalos de tempo no período acima do limiar de extravasamento de cheia;
 $t_{j+1,i}$ = instante de tempo ao final do intervalo de tempo $\Delta t_{j,i}$;
 $t_{j,i}$ = instante de tempo ao início do intervalo de tempo $\Delta t_{j,i}$;
 Δt_i = tempo acima do limiar de extravasamento do i -ésimo período acima do limiar de extravasamento do hidrograma de cheia (s);
 t_0 = instante de início do hidrograma de cheia;
 t_f = instante de fim do hidrograma de cheia;
 Q_0 = vazão no instante de início do hidrograma de cheia (m^3/s);
 $t_{máx}$ = instante de ocorrência da vazão de pico;
 $t_{ef\ pico}$ = instante de fim do extravasamento do período acima do limiar de extravasamento que contém a vazão de pico;
 x_{ij} = valor tratado da i -ésima observação do j -ésimo indicador;
 x_{ij}^0 = valor não tratado da i -ésima observação do j -ésimo indicador;
 $x_{j\ máx}^0$ = máximo valor não tratado do j -ésimo indicador;
 $x_{j\ mín}^0$ = mínimo valor não tratado do j -ésimo indicador;
 $\mathbf{X}^{(0)}$ = matriz de indicadores de cheia não tratados ou matriz original de dados;
 \mathbf{X} = matriz de indicadores de cheia tratados ou matriz de dados normalizados;
 d_{ik} = elemento da matriz de distâncias Euclidianas ou distância Euclidiana da i -ésima observação ao k -ésimo grupo;
 v_{kj} = elemento do k -ésimo centróide no j -ésimo indicador;
 J = número total de características descritivas do objeto de estudo, ou número total de indicadores;
 \mathbf{U} = matriz de partição difusa;
 u_{ki} = elemento da matriz de partição difusa \mathbf{U} ou grau de aderência da i -ésima observação do k -ésimo grupo;
 d_{jk} = elemento da matriz de distâncias Euclidianas ou distância Euclidiana da j -ésima observação ao k -ésimo grupo;
 K = número total de grupos;
 r = parâmetro de incerteza ou grau de imprecisão;

I = número total de observações da amostra;

F_{ob} = função objetivo;

$u^{(p+1)}_{ki}$ = elemento da matriz de partição difusa \mathbf{U}^{p+1} ou grau de aderência da i -ésima observação do k -ésimo grupo;

$d^{(p)}_{ik}$ = elemento da matriz de distâncias Euclidianas ou distância Euclidiana da i -ésima observação ao k -ésimo grupo;

$d^{(p)}_{jk}$ = elemento da matriz de distâncias Euclidianas ou distância Euclidiana da j -ésima observação ao k -ésimo grupo;

ε = erro máximo tolerado, igual a 10^{-5} ;

$u^{(p)}_{ki}$ = grau de aderência da i -ésima observação do k -ésimo grupo, da matriz de partição difusa \mathbf{U}^p ;

F_c = média dos quadrados dos elementos da matriz \mathbf{U} ;

H_c = média dos quadrados dos elementos da matriz \mathbf{U} multiplicados pelos seus respectivos logaritmos na base a ;

a = base do logaritmo, igual a 10.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	PROBLEMA	21
1.2	OBJETIVOS	22
1.2.1	Objetivo geral	22
1.2.2	Objetivos específicos	22
1.3	JUSTIFICATIVA	22
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
2	REVISÃO DE LITERATURA	26
2.1	DESASTRES NATURAIS	26
2.2	INUNDAÇÕES	28
2.2.1	Origem das inundações	28
2.2.2	Ocorrências históricas.....	30
2.2.3	Consequências das inundações	32
2.2.4	Medidas de controle de inundações.....	33
2.2.4.1	Medidas estruturais	34
2.2.4.2	Medidas não estruturais	36
2.3	CLASSIFICAÇÃO DE INUNDAÇÕES.....	37
2.3.1	Abordagem usual	41
2.3.2	Indicadores de cheia	41
2.4	ANÁLISE MULTIVARIADA DE DADOS	42
2.4.1	Algoritmos para agrupamento de dados aplicados a diversas áreas da ciência	47
2.4.2	Algoritmos aplicados ao agrupamento de dados hidrológicos	49
2.4.2.1	Self-organizing feature map (SOFM).....	49
2.4.2.2	K-means.....	50
2.4.2.3	Fuzzy c-means.....	51
3	MATERIAIS E MÉTODOS	54
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	54
3.1.1	Caracterização fisiográfica e climatológica da bacia hidrográfica	57
3.1.2	Caracterização hidrológica da bacia hidrográfica.....	59

3.2	MÉTODOS	60
3.2.1	Levantamento dos dados	61
3.2.1.1	Níveis de água e vazão em União da Vitória	61
3.2.1.2	Níveis de água em Porto Vitória.....	61
3.2.1.3	Curva de descarga	62
3.2.1.4	Cota de extravasamento	63
3.2.2	Correção das vazões em União da Vitória	64
3.2.3	Caracterização hidrológica da área de estudo	65
3.2.3.1	Níveis de água	65
3.2.3.2	Vazões	66
3.2.4	Seleção das cheias máximas anuais	66
3.2.5	Definição e cálculo dos indicadores de cheia.....	69
3.2.5.1	Vazão máxima anual (I_1)	70
3.2.5.2	Nível de água máximo anual (I_2)	70
3.2.5.3	Volume total extravasado (I_3)	71
3.2.5.4	Tempo acima do limiar de extravasamento (I_4).....	73
3.2.5.5	Tempo entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento (I_5)	75
3.2.5.6	Taxa média de ascensão do hidrograma de cheia (I_6).....	76
3.2.5.7	Taxa média de recessão do hidrograma de cheia (I_7).....	76
3.2.6	Análise inicial dos indicadores de cheia	77
3.2.6.1	Ranqueamento dos 10 maiores eventos de cheia	77
3.2.6.2	Análise de correlação.....	78
3.2.6.3	Tratamento inicial dos indicadores de cheia	78
3.2.7	Desenvolvimento e avaliação inicial do programa computacional para agrupamento de cheias.....	79
3.2.8	Agrupamento das cheias máximas anuais.....	79
3.2.8.1	Determinação do número de grupos (k) e do parâmetro de incerteza (r).....	83
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	86
4.1	CORREÇÃO DAS VAZÕES EM UNIÃO DA VITÓRIA.....	86

4.2	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	87
4.3	SELEÇÃO DE CHEIAS MÁXIMAS ANUAIS	93
4.4	CÁLCULO DOS INDICADORES DE CHEIA.....	99
4.4.1	Volume total extravasado (I_3)	99
4.4.2	Tempo acima do limiar de extravasamento (I_4).....	101
4.4.3	Tempo entre início e ultrapassagem do limiar de extravasamento (I_5).....	102
4.4.4	Taxa média de ascensão do hidrograma de cheia (I_6).....	104
4.4.5	Taxa média de recessão da onda de cheia (I_7).....	105
4.5	ANÁLISE INICIAL DOS INDICADORES DE CHEIA	107
4.5.1	Ranqueamento dos 10 maiores eventos de cheia	107
4.5.2	Análise de correlação das variáveis	108
4.5.3	Tratamento inicial dos indicadores de cheia	109
4.6	AVALIAÇÃO INICIAL DO PROGRAMA	109
4.6.1	Exemplo genérico de duas dimensões.....	110
4.6.1.1	Resultados obtidos a partir do código do Apêndice C.....	111
4.6.1.2	Resultados obtidos a partir da função “ <i>fcm</i> ” do <i>software</i> MatLab	115
4.6.2	Exemplo genérico de três dimensões	118
4.6.2.1	Resultados obtidos a partir do código do Apêndice C.....	119
4.6.2.2	Resultados obtidos a partir da função “ <i>fcm</i> ” do <i>software</i> MatLab	124
4.7	AGRUPAMENTO DE CHEIAS.....	126
4.7.1	Determinação do número de grupos (K) e do parâmetro de incerteza (r)... 126	
4.7.2	Agrupamento de cheias para número de grupos (K) e parâmetro de incerteza (r) ideais obtidos.....	127
4.8	ANÁLISE DOS INDICADORES DE CHEIAS DE ACORDO COM O AGRUPAMENTO DE CHEIAS.....	133
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	139
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143
	APÊNDICE A – CÓDIGOS PARA CÁLCULO DOS INSTANTES DE INÍCIO E FIM DO EXTRAVASAMENTO.....	149
	APÊNDICE B – CÓDIGOS PARA CÁLCULO DOS INDICADORES DE CHEIA	151
	APÊNDICE C – CÓDIGO DO MÉTODO <i>FUZZY C-MEANS</i>	158
	APÊNDICE D – CÓDIGOS DE FUNÇÕES UTILIZADAS.....	161

APÊNDICE E – INSTANTES DE INÍCIO E FIM DE EXTRAVASAMENTO	164
APÊNDICE F – MATRIZ DE INDICADORES DE CHEIA NÃO TRATADOS (MATRIZ X^0).....	167
APÊNDICE G – MATRIZ DE INDICADORES DE CHEIA NORMALIZADOS (MATRIZ X).....	170
APÊNDICE H – MATRIZ DE PARTIÇÃO DIFUSA FINAL (U)	173
ANEXO A – CURVA DE DESCARGA NATURAL DA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA UNIÃO DA VITÓRIA (65310000)	176

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial à vida e a sua utilização está intimamente relacionada ao desenvolvimento da população. Esta demanda natural por água fez com que, historicamente, cidades surgissem à beira de rios e hoje, apesar do crescimento urbano, ainda existem populações que ocupam as proximidades de cursos de água em diversas regiões do Brasil e do mundo. Nestes casos, normalmente caracterizados como ocupações irregulares, associados à ocorrência de eventos hidrológicos extremos, o perigo de prejuízos decorrentes de inundações se torna muito maior.

Porém, sabe-se que, apesar das inundações serem recorrentes atualmente, a ocupação irregular de áreas ribeirinhas não é o único fator gerador de desastres. Como exemplos de fatores relacionados às cheias de origem antrópica, além da ocupação irregular do solo, podem ser citadas as altas taxas de impermeabilização em áreas urbanas, a retificação de canais e o lançamento de resíduos sólidos em rios. Estes fatores estão, muitas vezes, também associados às causas naturais, que são imprevisíveis e impossíveis de serem evitadas, podendo gerar, também, prejuízos financeiros imensos e inúmeras perdas humanas, dependendo da severidade do desastre.

No Brasil, estes desastres são frequentes, seja por origem natural ou devido à ação humana. As regiões de Angra dos Reis, Blumenau, Porto Alegre e o Vale do Itajaí podem ser apresentadas como exemplos de áreas atingidas. No Estado do Paraná, por sua vez, a cidade de União da Vitória sofre com cheias no rio Iguaçu, com registros desde 1891 e diferentes prejuízos para a sociedade a cada evento. No ano de 1983, que historicamente registrou a maior cheia observada no município de União da Vitória, a vazão atingida foi aproximadamente 10 vezes maior que a vazão média da estação fluviométrica da região, enquanto os níveis de água foram três vezes superiores aos níveis médios. Com uma vasta região atingida e muitas edificações submersas, a cheia de 1983 gerou inúmeras especulações a respeito das origens do desastre e, posteriormente, estudos voltados a explicar este fenômeno não conseguiram impedir que ocorressem novos desastres em anos posteriores.

Assim, é historicamente perceptível que estes fenômenos podem causar inúmeros danos à sociedade e que se faz necessário diminuir significativamente os

impactos gerados pelos eventos críticos, uma vez que não é possível evitar completamente a sua ocorrência. Na tentativa de reduzir estas consequências, admite-se que o agrupamento de cheias pode contribuir com este objetivo, auxiliando para um melhor entendimento dos fenômenos possíveis de acontecerem, e, através da análise de variáveis que traduzem a intensidade dos eventos, permitir a identificação de características semelhantes observadas nas cheias ocorridas em uma bacia hidrográfica, que podem, possivelmente, analisar os mecanismos de formação dos eventos. Diante deste contexto, portanto, o presente estudo, visando realizar o agrupamento de cheias observadas, baseia-se na lógica difusa para estabelecer o relacionamento dos eventos com os grupos formados.

A lógica difusa possui conceitos amplamente aplicáveis aos estudos voltados à Engenharia de Recursos Hídricos e à Hidrologia, inclusive, pois os processos envolvidos nestas áreas são sempre incertos. Dessa forma, o presente estudo utiliza o algoritmo *fuzzy c-means* – uma vez que o método se baseia na lógica difusa e apresenta vastas aplicações relacionadas à Hidrologia – para agrupar as cheias observadas no município de União da Vitória, no estado do Paraná, a partir da definição de diferentes indicadores de severidade de uma cheia, buscando analisar as características comuns a cada grupo.

1.1 PROBLEMA

Dentro do contexto da ocorrência frequente de inundações, insere-se o presente trabalho, o qual busca responder à seguinte questão: dado um conjunto de eventos observados, é possível classificar as cheias de uma determinada localidade em grupos com características semelhantes observadas nestas cheias?

Desta forma, a hipótese básica adotada no presente estudo é que, sim, é possível classificar as cheias de um determinado local em grupos com características semelhantes, e, a partir dessa hipótese, desenvolve-se este trabalho, buscando estabelecer o agrupamento de cheias históricas, com base na definição de diferentes indicadores de severidade de uma cheia.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é analisar e agrupar cheias observadas na localidade de interesse, a partir de hidrogramas observados, a fim de se identificar características semelhantes entre os eventos de um mesmo grupo, tendo-se por base a definição de um conjunto de indicadores de severidade de cheia.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos deste trabalho podem ser destacados:

- a) Identificar os máximos eventos anuais de cheia observados na localidade de interesse;
- b) Definir indicadores de cheia relevantes para caracterizar a severidade dos eventos e permitir o seu agrupamento;
- c) Desenvolver e validar um método computacional para processar o algoritmo *fuzzy c-means*;
- d) Aplicar o método *fuzzy c-means (fcm)* para agrupar as cheias observadas segundo os indicadores de severidade;
- e) Analisar as características semelhantes que levaram à formação de cada um dos grupos.

1.3 JUSTIFICATIVA

A cidade de União da Vitória, objeto de estudo deste trabalho, sofre historicamente com a ocorrência de eventos de cheias. As cheias, independentemente

de sua origem (antrópica ou natural), consistem no desastre natural com maior número de ocorrências e que gera os impactos mais desastrosos para a sociedade.

Estes impactos, além de serem irreparáveis na ocorrência de mortes e desastres ambientais, geram prejuízos financeiros imensos, os quais poderiam ser evitados, se houvesse o investimento adequado na sua redução. Tucci e Bertoni (2003) afirmam que, para os investimentos destinados aos desastres naturais, há uma diferenciação entre o que é praticado por países desenvolvidos e países em desenvolvimento: estes, na tentativa de evitar o acontecimento de catástrofes, investem em grandes obras de engenharia, extremamente onerosas, e que, em casos de falhas, geram ainda mais danos financeiros, enquanto aqueles priorizam medidas não estruturais, que permitem a convivência adequada da população com as cheias e, conseqüentemente, são mais econômicas e ambientalmente sustentáveis.

No cenário brasileiro, por se tratar de um país em desenvolvimento, as medidas não estruturais também não são priorizadas, gerando, portanto, grandes transtornos para a população em casos de ocorrência de inundações. Entretanto, nos últimos 20 anos, foram elaboradas uma série de Políticas Nacionais, com objetivo de melhorar a relação entre a sociedade e os sistemas naturais, inclusive a água.

A primeira delas foi instaurada em 1997, denominada de Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei Nº 9.433, e que tem como um dos seus objetivos *“a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais”* (BRASIL, 1997).

Dez anos depois, foram estabelecidas as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico, através da Lei Nº 11.445 de 2007, cujos princípios fundamentais se baseiam, entre outros conceitos, na universalização do acesso ao saneamento básico, no abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos de forma adequada, bem como, na disponibilidade dos serviços de drenagem em áreas urbanas e manejo das águas pluviais (BRASIL, 2007). Estes aspectos, além de possuírem elevada relevância para a sociedade, também se relacionam com os eventos de cheia registrados no país, pois, uma vez que os municípios apresentem, por exemplo, a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos adequados, não haverá a deposição irregular destes materiais nos corpos hídricos, evitando a elevação do nível de água.

Depois de 2007, a instituição de normativas voltadas a proteger os sistemas naturais no país se tornou mais frequente. Em 2009, instituiu-se a Política Nacional

sobre Mudança do Clima, com a Lei Nº 12.187 (BRASIL, 2009), e no ano seguinte, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, através da Lei Nº 12.305 (BRASIL, 2010). Já em 2012, é lançada a Lei Nº 12.608, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, delibera o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC), e autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres (BRASIL, 2012).

A partir de então, as diretrizes voltadas à mitigação de impactos gerados por desastres naturais, inclusive oriundos de cheias, passaram a ser mais específicas, atribuindo responsabilidades aos órgãos competentes, como a Defesa Civil, que auxiliam as autoridades locais em situações de emergência.

Dessa forma, é possível perceber que, atualmente, há interesse político em melhorias nesta área da Ciência. Porém, na maioria das vezes, as decisões tomadas se baseiam em solucionar os problemas oriundos de uma situação crítica, e não em evitar estas situações críticas ou, pelo menos, em agir preventivamente para mitigar os impactos gerados pelas situações críticas.

Ainda, é importante destacar que a análise de eventos de cheia no Brasil, muitas vezes, limita-se ao estudo dos valores máximos de vazão e nível de água associados às cheias. Do ponto de vista de prejuízos e, inclusive da ação da Defesa Civil, aspectos como tempo de pico, volume da cheia e tempo de recessão do hidrograma de cheia também podem ser características que tornam um evento mais crítico em comparação aos demais.

Neste contexto está inserido o presente trabalho, com o qual acredita ser possível atenuar os efeitos dos eventos extremos de cheia, visando contribuir com a diminuição dos prejuízos econômicos e sociais do local de estudo, a partir da melhor caracterização destes fenômenos e do posterior estudo dos seus mecanismos de formação, de modo a possibilitar a estimativa de sua magnitude e abrangência de impacto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi estruturado da seguinte forma: no capítulo 1 foi apresentado o contexto em que se insere o estudo de inundações, evidenciando sua

importância no cenário nacional. No capítulo 2, apresenta-se a revisão de literatura sobre: cheias e suas medidas de controle, classificação de cheias e técnicas de agrupamento de dados. No capítulo 3, considerando-se os objetivos propostos, descreve-se o objeto de estudo e os métodos a serem aplicados para se atingir o objetivo. No capítulo 4 são descritos os resultados obtidos a partir da aplicação do método apresentado anteriormente. No capítulo 5, apresentam-se as conclusões deste trabalho e as recomendações para futuros estudos. Por fim, apresentam-se os apêndices referentes ao trabalho desenvolvido, e um anexo, contendo a curva de descarga natural da área de estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste item é apresentada a Revisão de Literatura desenvolvida para os diversos tópicos relacionados aos estudos de inundações, bem como, para as técnicas possíveis de serem adotadas para o agrupamento de cheias.

2.1 DESASTRES NATURAIS

Os desastres naturais são resultado da ação de eventos sobre um sistema vulnerável, que acarretam em prejuízos de ordem humana, ambiental e material (NEDEL; SAUNSEN, 2012). Estes desastres podem ser classificados de acordo com sua origem e, segundo *Emergency Disasters Data Base* (EM-DAT, 2015), são seis as categorias de eventos existentes: geofísico, meteorológico, hidrológico, climatológico, biológico e extraterrestre. A Tabela 2.1 apresenta a classificação dos eventos naturais, bem como, suas definições e os tipos de desastres que se incluem em cada categoria.

Segundo a Tabela 2.1, as cheias, objeto de estudo deste trabalho, classificam-se como um evento hidrológico, juntamente com os movimentos de terra úmida.

Utilizando a base de dados internacionais *Emergency Disasters Data Base* (EM-DAT), Nedel e Saunsen (2012) mostram que, nos últimos anos, vários desastres naturais, como inundações, secas, deslizamentos de terras e temperaturas extremas, têm atingido o Brasil e afetado milhares de pessoas, gerando prejuízos da ordem de bilhões de dólares. Ainda a partir de dados do *Emergency Disasters Data Base* (EM-DAT), Monteiro e Kobiyama (2013) afirmam que as inundações compõem o fenômeno de maior relevância no país em comparação aos demais desastres naturais ocorridos no Brasil, como pode ser observado na Figura 2.1, onde as mortes devido às cheias representam mais de 80% dentre aquelas causadas por desastres naturais no Brasil. Nesta figura também é importante ressaltar que, apesar das secas afetarem um maior número de pessoas no país (cerca de 80% dos afetados por desastres naturais ocorridos), suas consequências não são tão drásticas quanto aquelas oriundas de cheias, uma vez que o número de mortos, feridos e desabrigados é significativamente inferior no caso das secas.

Tabela 2.1. Classificação dos desastres naturais

Classificação	Definição	Tipos de desastres
Geofísico	Eventos oriundos de massas de terra	Terremotos, vulcões, movimentos de terra (seca)
Meteorológico	Eventos causados por processos atmosféricos de curta a média duração (na escala de minutos até dias)	Tempestades, temperaturas extremas, névoas
Hidrológico	Eventos causados pelo desvio do ciclo natural da água e/ou transbordamento de corpos d'água	Cheias, movimentos de terra (úmida)
Climatológico	Eventos causados por processos de média a longa duração (em escala de variação climática intra-sazonal a multi-decadal)	Secas, queimadas
Biológico	Desastre causado pela exposição de organismos vivos a germes e substâncias tóxicas	Epidemias, infestação de insetos, fuga de animais
Extraterrestre	Desastre causado por asteróides, meteoroides e cometas à medida que passam perto da Terra, entram na atmosfera terrestre e/ou atingem a Terra	Colisões

(Fonte: adaptado de EM-DAT, 2015)

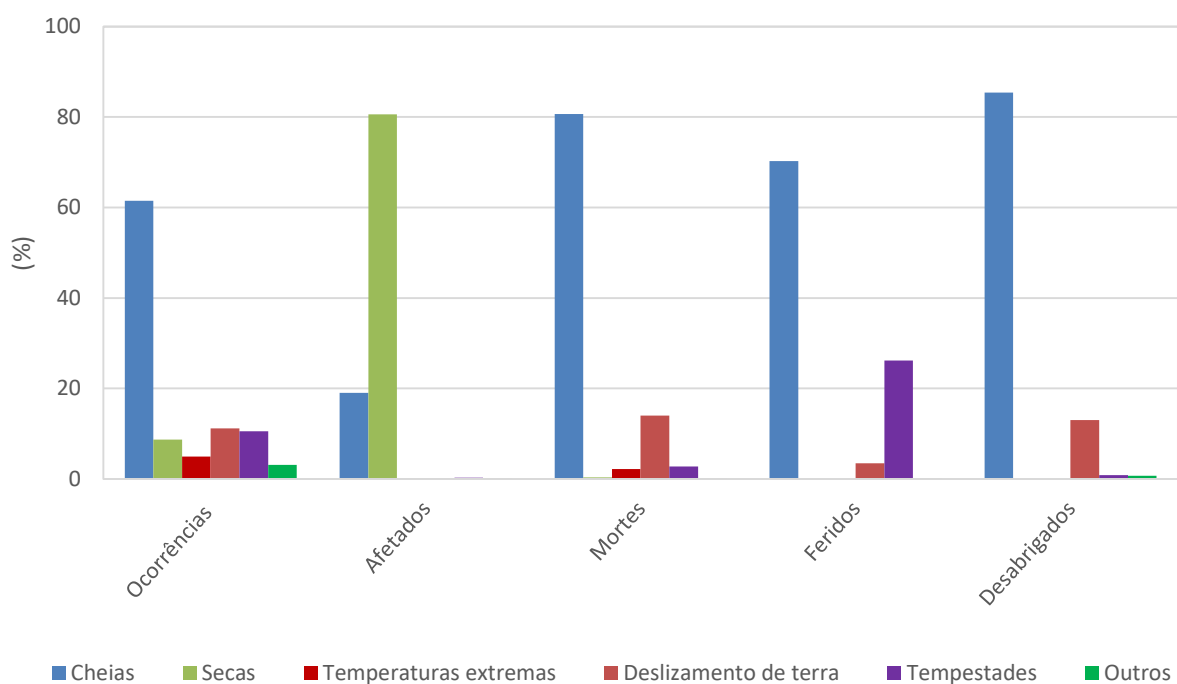


Figura 2.1. Desastres naturais ocorridos no Brasil de 1980 a 2014

(Fonte: EM-DAT, 2015)

2.2 INUNDAÇÕES

Apesar das estiagens e cheias de menor porte representarem a maior parte do período hidrológico, limitando o escoamento ao leito principal dos rios, na ocorrência de cheias de grandes proporções, o nível de água se eleva acima das margens dos rios, por diversos fatores, gerando um extravasamento para a planície de inundação e podendo atingir áreas significativas da bacia, inclusive áreas ocupadas pela população (TUCCI; BERTONI, 2003; PAZ *et al.*, 2009).

O conceito de cheias de grandes proporções, conforme apresentado por Tucci e Bertoni (2003) e Paz *et al.* (2009), expressa o entendimento utilizado no presente trabalho sobre a definição de inundação. Ainda que existam na literatura uma série de definições para este termo, todas convergem para 'vazão escoada que supera a capacidade de drenagem da calha principal de um rio', como apresentam Tucci (2012) e Castilho *et al.* (2009).

2.2.1 Origem das inundações

As inundações podem ter causas naturais ou serem oriundas de ações antrópicas (CASTILHO *et al.*, 2005). As causas naturais são resultado de eventos hidrológicos muito intensos, geralmente em um curto período de tempo, os quais não podem ser previstos com exatidão, nem terem a sua ocorrência evitada. As ações humanas, por sua vez, podem provocar cheias ou agravar significativamente os efeitos destas precipitações intensas em uma determinada região, exigindo, também, a atenção da sociedade (TUCCI; BERTONI, 2003).

Como uma das causas de enchentes por intervenção humana, pode-se citar a ocupação irregular das áreas inundáveis, representadas pelo leito maior do rio representado na Figura 2.2. Tucci (1997) explica esta ocupação ocorrida no passado como um meio de facilitar o transporte fluvial e o consumo de água pelas populações, e, a partir de então, as cidades passaram a se desenvolver em áreas ribeirinhas através da observação da variação dos níveis de água. Castilho *et al.* (2005) afirmam que esta ocupação desordenada e irregular das planícies de inundação constitui a principal causa de inundações devido às ações humanas.

No Brasil, por exemplo, a ocupação de áreas irregulares ocorreu devido ao histórico processo de urbanização, no qual se destaca a valorização das áreas centrais, sem o favorecimento às comunidades mais pobres (BRASIL, 2007), e com este processo de urbanização, o qual impõe à sociedade atual uma aplicação de altas taxas de impermeabilização, também houve o agravamento das enchentes.

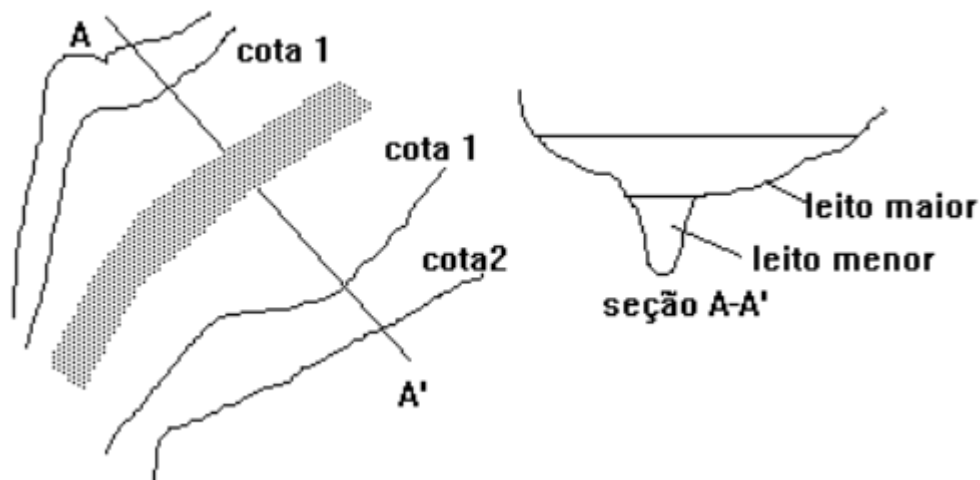


Figura 2.2. Caracterização dos leitos de escoamento de rios
(Fonte: Tucci, 1997)

Ainda, Tucci e Bertoni (2003), em concordância com Chow *et al.* (1988), afirmam que a urbanização altera o ciclo hidrológico devido à modificação da cobertura vegetal da bacia, pois, com a construção de edificações e obras de infraestrutura, as taxas de impermeabilização se tornam maiores.

Chow *et al.* (1988) classificaram os efeitos mais conhecidos da urbanização sobre o ciclo hidrológico em duas categorias:

- a) Aumento do volume de água é proporcional ao aumento das áreas impermeabilizadas, e, então, reduz-se a quantidade de água infiltrada;
- b) Aumento da drenagem superficial e do pico de enchente devido à maior eficiência do sistema de drenagem urbana, ou seja, ao maior escoamento em condutos.

Além dos efeitos devido à urbanização apresentados, é importante ressaltar que existem ainda outras origens antrópicas das inundações, como o lançamento de resíduos sólidos em cursos de água, que, além de contribuir com a elevação dos

níveis de água de corpos hídricos, geram a poluição das águas, podendo, inclusive, facilitar a proliferação de doenças através da água (TUCCI; BERTONI, 2003).

Assim, uma vez que são inúmeras as causas de inundações, Freitas e Ximenes (2012) desenvolveram uma pesquisa a respeito das causas de inundações mais estudadas. A Tabela 2.2 apresenta outras causas de cheias, além daquelas já citadas, classificadas em antrópicas e naturais.

Tabela 2.2. Causas de inundações

Causas atribuídas aos fenômenos e eventos naturais	Mudanças climáticas
	Aquecimento global
	Chuvas intensas e localizadas
	Furacões e ciclones
	Monções
	Derretimento intensivo de neve e geleiras
	Tsunamis
Causas atribuídas às atividades humanas	Descartes inadequados de lixo
	Intensificação da agricultura
	Construções de barragens e hidrelétricas
	Desmatamento e erosão do solo

(Fonte: adaptado de Freitas e Ximenes, 2012)

Nota-se que, na Tabela 2.2, Freitas e Ximenes (2012) classificaram as mudanças climáticas entre as causas naturais. Porém, conceitualmente, as mudanças climáticas são classificadas entre as causas antrópicas de desastres, enquanto que a variabilidade climática, não citada na Tabela 2.2, seria, portanto, uma causa natural das inundações.

2.2.2 Ocorrências históricas

Desde a antiguidade, as inundações têm afetado a sociedade em uma escala mundial e, hoje, estes desastres vêm aumentando na mesma proporção (WANG *et al.*, 2014).

Como exemplos, podem ser citados o rio Wujiang, no sul da China, que frequentemente afeta a sociedade com suas cheias e que, na cheia de 2006, gerou 52 mortes e U\$ 5,8 bilhões de prejuízos econômicos (CHEN; WANG, 2012) e a inundação catastrófica ocorrida nos Estados Unidos depois do furacão Katrina, em

agosto de 2005, que gerou inúmeras perdas humanas e uma estimativa inicial de U\$ 90 bilhões em danos para os estados de Louisiana e Mississippi (USACE, 2006).

No Brasil, estes eventos também são recorrentes e normalmente originados da ocupação desordenada das margens dos rios, como já citado na Seção 2.2.1. Tucci (1997) afirma que a ocupação irregular em margem de rios ocorre desde os tempos antigos e, como exemplo, cita a cidade de Blumenau, no Estado de Santa Catarina. Blumenau tem registros de cotas que atingem as planícies de inundação do rio desde 1852, ano em que registrou um nível de água de 16,5 m. Porém, durante 71 anos consecutivos (de 1912 a 1982) não registrou valores superiores a 13,0 m. Devido a isso, neste período de pequenas enchentes, houve grande ocupação do vale de inundação, resultando em prejuízos de aproximadamente 16% do PIB do Estado de Santa Catarina na cheia de 1983 (TUCCI, 1997). Após a cheia de 1983, foram realizadas estimativas de danos econômicos causados pelas enchentes e JICA (1988) concluiu que o custo médio anual de enchentes em Blumenau seria de 7% do valor de todas as propriedades da cidade e de 22 milhões de dólares para todo o Vale do Itajaí, atingindo níveis ainda mais drásticos para uma cheia de 50 anos: U\$ 250 milhões.

Tucci (1997) cita como outro caso de cheias com sérias consequências no Brasil a cidade de Porto Alegre. Esta cidade teve grande parte do centro do município, e algumas áreas ribeirinhas, atingidas em 1941 e em uma cheia de menor porte em 1967. Como medida de controle, a partir de 1967, passou-se a desenvolver a construção de um sistema de diques de proteção para a cidade. Porém, a retirada deste sistema de proteção vem sendo cogitada pelas autoridades locais, uma vez que as cheias ocorridas nos últimos anos não atingiram a cota de proteção dos diques (TUCCI, 1997). Entretanto, esta retirada, baseada única e exclusivamente no fato de não terem sido observados eventos catastróficos nos últimos anos, seria equivocada, uma vez que a não ocorrência de um evento catastrófico nos últimos anos não impede sua ocorrência em um futuro breve, ocasionando, assim, danos similares àqueles ocorridos na cheia de 1941. Ou seja, o tempo de retorno de um evento, mesmo que elevado, não garante que este evento não possa acontecer em um curto período de tempo, já que os eventos extremos são, de fato, imprevisíveis.

No Estado do Paraná, por sua vez, a cidade de União da Vitória sofre frequentemente com os efeitos das inundações (TUCCI, 1997). Historicamente, há registros de cheias desde 1891, agravando-se a partir de 1905 (SILVA, 1934) e

registrando a maior cheia em 1983, quando níveis de água registrados foram de aproximadamente 10,4 m e 80% do município foi atingido, resultando em prejuízos de cerca de U\$ 78,1 milhões. Depois disso, registraram-se cheias de menor porte, mas ainda com impactos significativos, em 1992, 1993 e 2014 (CENACID, 2014).

2.2.3 Consequências das inundações

Os problemas oriundos das inundações dependem, principalmente, da urbanização das áreas ribeirinhas e da frequência de ocorrência de eventos extremos máximos (CASTILHO *et al.*, 2005), gerando inúmeros prejuízos à população, que vão além dos impactos financeiros. Os desastres podem gerar perdas sociais, paralisação de atividades econômicas em regiões atingidas, poluição das águas pela inundação de depósitos de material (BRASIL, 2007), transmissão de doenças pela água, como leptospirose e cólera, além de dificultar a mobilidade urbana, bloqueando ruas, rodovias e pontes (FREITAS; XIMENES, 2012).

Estas e outras consequências oriundas das inundações podem ser classificadas, inicialmente, de acordo com Machado *et al.* (2005) e Messner *et al.* (2006), em danos tangíveis e intangíveis e, em um segundo nível de classificação, em diretos e indiretos. Esta classificação dos danos, segundo as categorias citadas, caracteriza-se pela facilidade em quantificá-los financeiramente (danos tangíveis ou intangíveis) e em relação ao contato físico de humanos, bens ou meio-ambiente com a água (danos diretos ou indiretos). A Tabela 2.3 apresenta exemplos de danos tangíveis ou intangíveis e diretos ou indiretos.

Como exemplos de danos, diretos ou indiretos, a Tabela 2.3 apresenta como danos tangíveis a perda de residências ou veículos, alagamento de áreas agrícolas e possível perda de gado, bloqueio de estradas ou danos à infraestrutura de comunicação da região, entre outros. Dentre os danos intangíveis, por sua vez, encontram-se as mortes e feridos, perdas históricas e culturais, danos ambientais, traumas psicológicos e etc.

Na literatura, há controvérsias a respeito da avaliação dos danos indiretos. Machado *et al.* (2005) e Messner *et al.* (2006) concordam que as consequências indiretas são pouco analisadas devido à falta de dados e à dificuldade em relacionar seus efeitos com as consequências diretas, por isso leva-se em conta, em geral,

apenas os danos diretos e tangíveis. Entretanto, para Barbat e Carreño (2004), os danos indiretos de uma inundação podem ser estimados em 50% dos danos diretos.

Tabela 2.3. Classificação de danos decorrentes de inundações

	Tangíveis	Intangíveis
Diretos	Residências; Bens de capital e inventários; Interrupção de negócios na área inundada; Veículos; Gado e áreas agrícolas; Estradas e infraestrutura de comunicação; Operações de evacuação e salvamento; Reconstrução de sistemas de contenção de cheias; Custos com limpeza.	Fatalidades; Feridos; Danos morais; Utilidades e comunicação; Perdas históricas e culturais; Danos ambientais.
Indiretos	Danos às companhias fora da área inundada; Ajuste de padrões de produção e consumo fora da área inundada; Evacuações temporárias.	Perturbação social; Traumas psicológicos; Não confiança nas autoridades.

(Fonte: adaptado de Jonkman *et al.* (2008), Machado *et al.* (2005) e Messner *et al.* (2006))

Para a estimativa dos danos resultantes de uma inundação, Messner *et al.* (2006) afirmam que é necessário avaliar a intensidade das inundações de um determinado cenário, sendo que os níveis de água e as áreas atingidas são as características primordiais de uma cheia, seguidas da duração, tempo de pico e velocidade.

É importante ressaltar que, em geral, a análise das consequências decorrentes de uma inundação é muito subjetiva. Enquanto alguns dos danos são de fácil classificação, outros irão depender, basicamente, do bom senso da equipe avaliadora do desastre ocorrido (BONATTI, 2011), uma vez que as características variam significativamente de um evento para o outro, assim como a sua intensidade.

2.2.4 Medidas de controle de inundações

Uma vez que os eventos naturais não podem ser evitados, procura-se diminuir os problemas causados à sociedade. Para isso, alguns aspectos devem ser considerados, como, por exemplo, as normas e legislações vigentes na região em

estudo, a consideração da bacia como um sistema, a fim de que não haja redução de impacto em uma região em detrimento de outra, e a análise das medidas de controle mais adequadas para cada situação (TUCCI *et al.*, 1995).

As medidas de controle, por sua vez, classificam-se em medidas estruturais e medidas não estruturais. As medidas estruturais consistem em obras hidráulicas que modificam o sistema fluvial e, conseqüentemente, evitam os prejuízos devido às inundações. Já as medidas não estruturais reduzem os prejuízos através da melhor convivência da população com os eventos (TUCCI, 2012; CANHOLI, 2014).

2.2.4.1 Medidas estruturais

Esta categoria das medidas de controle de inundações pode, ainda, ter duas classificações: extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que agem na própria bacia e visam alterar as relações existentes entre precipitação e vazão. As intensivas, entretanto, atuam diretamente no rio, podendo aumentar ou diminuir a velocidade do escoamento, ou, até mesmo, desviar o curso de água (TUCCI, 2012).

Ambas as medidas (extensivas ou intensivas) possuem suas vantagens e desvantagens, bem como, situações em que são melhor aplicadas (TUCCI, 2012), já que são várias as medidas estruturais possíveis de serem adotadas. A Tabela 2.4 apresenta exemplos de medidas estruturais extensivas e intensivas, com suas respectivas vantagens e desvantagens, bem como, suas aplicações.

Além das medidas estruturais apresentadas na Tabela 2.4, Canholi (2014) ainda apresenta como outra medida extensiva os pequenos armazenamentos disseminados na bacia. Dentre as medidas estruturais intensivas, Canholi (2014) as classifica em quatro tipos, de acordo com seus objetivos: canalização e obras correlatas; retardamento de fluxo, desvio do escoamento e as que englobam a introdução de ações individuais, a fim de tornar as edificações à prova de enchentes. Esta classificação proposta por Canholi (2014) diferencia dos exemplos apresentados na Tabela 2.4 apenas por considerar edificações à prova de enchentes, que, segundo Tucci (2012), constituem uma medida não estrutural, tratada na próxima subseção. Os demais exemplos apresentados na Tabela 2.4 também são propostos na classificação de Canholi (2014).

Na Tabela 2.4, ainda, as aplicações das medidas estruturais variam, em geral, com o tamanho da bacia hidrográfica (ou rio) onde se pretende desenvolver o estudo, exceto para a construção de reservatórios para controle de cheias que não apresenta restrições de dimensões da bacia ou do rio.

Tabela 2.4. Classificações e exemplos de medidas estruturais

MEDIDAS EXTENSIVAS				
Medida		Principal vantagem	Principal desvantagem	Aplicação
Cobertura vegetal		Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de perda de solo		Redução do assoreamento		
MEDIDAS INTENSIVAS				
Medida		Principal vantagem	Principal desvantagem	Aplicação
Diques e polders		Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos em caso de falha	Grandes rios
Melhoria do canal	Redução da rugosidade por desobstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
	Corte de meandro	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
Reservatórios	Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil	Bacias intermediárias
	Reservatórios com comportas	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
	Reservatórios para cheias	Operação com o mínimo de perdas	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
Mudança de canal	Caminho da cheia	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes bacias
	Desvios	Reduz a vazão do canal		Bacias médias e grandes

(Fonte: adaptado de Simons *et al.*, 1977¹ *apud* TUCCI, 2012)

¹ SIMONS, D. B. *et al.* **Flood flows, stages and damages**. Fort Collins: Colorado State University. 1977.

Ainda, diante das medidas estruturais apresentadas, é importante ressaltar que nenhuma medida de controle de inundações, aplicada a determinada região, pode atuar em detrimento de outra. Ou seja, ao se praticar medidas eficazes de controle de inundações em uma região a montante na bacia hidrográfica, deve-se evitar a transferência destas cheias para jusante. Na literatura foram encontradas estas recomendações, em especial, para os sistemas de drenagem urbana. Tucci (2003) afirma que as políticas envolvidas na drenagem urbana utilizam como conceito básico “*escoar a água precipitada o mais rápido possível*”, e que este conceito, apesar de ultrapassado desde a década de 70, ainda é aplicado no Brasil e aumenta as inundações a jusante devido às canalizações.

Entretanto, Walesch (1989)² *apud* Canholi (2014) descreve, além do conceito de “canalização”, o conceito de “reservação”, também aplicado à drenagem urbana, e afirma que os impactos nos trechos de jusante aumentam significativamente quando realizadas obras de canalização, enquanto que a reservação, se aplicada, poderia tornar as vazões de jusante compatíveis com a capacidade de escoamento disponível.

Portanto, diante das diversas medidas estruturais possíveis de serem adotadas, é preciso saber identificar em quais situações cada medida é mais adequada e conhecer o seu local de aplicação, para que a medida atue com eficácia, sem prejudicar as proximidades.

2.2.4.2 Medidas não estruturais

Apesar de não ser propriamente uma regra, as medidas não estruturais são comumente aplicadas em conjunto com as medidas estruturais e executadas a um custo muito inferior ao custo de medidas unicamente estruturais (TUCCI, 2012; CANHOLI, 2014). Porém, tanto as medidas estruturais, quanto as não estruturais, não são planejadas para propiciar uma proteção completa, pois, para isso, seria necessário um planejamento para o maior evento estimado, o que seria física e economicamente inviável na maioria dos casos (TUCCI, 2012).

Tucci (2012) também realizou um agrupamento para as medidas não estruturais, subdividindo-as em:

² WALESCH, S. G. **Urban surface water management**. New York, 1989.

- a) Regulamentação do uso de terra;
- b) Construções à prova de enchentes;
- c) Seguro de enchente;
- d) Previsão e alerta de inundação.

Canholi (2014) também cita a educação ambiental, voltada ao controle de poluição difusa, erosão e lixo, como medida não estrutural de controle de cheias. Além disso, conforme já citado na Seção 2.2.4.1, o referido autor classifica as construções à prova de enchentes como uma medida estrutural intensiva, não adotando a mesma classificação de Tucci (2012), que as considera como uma medida não estrutural.

Canholi (2014) também cita aplicações das medidas não estruturais apresentadas, como, por exemplo, dos sistemas de previsão e alerta de cheia, os quais facilitam as ações preventivas por meio de isolamento ou retirada de pessoas e bens das áreas de risco, e da adoção de desvios de tráfego.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DE INUNDAÇÕES

Existem, de acordo com a Defesa Civil, classificações para as inundações que consideram sua magnitude (excepcionais, de grande magnitude, normais ou regulares e de pequena magnitude) e seu padrão evolutivo (inundações graduais, inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas) (CASTRO, 2003). Dentre os tipos de inundações classificadas pelo seu padrão evolutivo, as inundações graduais e bruscas causam, em geral, a maior parte das situações de emergência ou estados de calamidade pública (KOBİYAMA *et al.*, 2006).

Kobiyama e Goerl (2007) desenvolveram uma relação com definições de inundações bruscas e graduais estabelecidas por diversos autores ao longo dos anos. As Tabelas 2.5 e 2.6 apresentam as definições selecionadas por Kobiyama e Goerl (2007) para as inundações graduais e bruscas, respectivamente.

Tabela 2.5. Definições de inundações graduais

Termo	Autor	Definição
<i>Flood</i>	NFIP (2005) ³	Uma condição geral ou temporária, de parcial ou completa inundação, de dois ou mais acres de uma terra normalmente seca, ou duas ou mais propriedades, proveniente da inundação de águas continentais ou oceânicas.
<i>Flood</i>	NWS/NOAA (2007) ⁴	A inundação de uma área normalmente seca causada pelo aumento do nível das águas em um curso d'água estabelecido, como um rio, um córrego, ou um canal de drenagem ou um dique, perto ou no local onde as chuvas precipitaram.
Inundações graduais ou enchentes	CASTRO (2003) ⁵	As águas elevam-se de forma paulatina e previsível, mantêm-se em situação de cheia durante algum tempo e, a seguir, escoam-se gradualmente. Normalmente, as inundações graduais são cíclicas e nitidamente sazonais.
Inundações ribeirinhas	TUCCI E BERTONI (2003)	Quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoam para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento. O excesso de volume que não consegue ser drenado ocupa a várzea inundando de acordo com a topografia de áreas próximas aos rios.
<i>River flood</i>	MENDIONDO (2005) ⁶	O transbordamento do curso do rio é normalmente o resultado de prolongada e copiosa precipitação sobre uma grande área. Inundações de rio acontecem associadas a sistemas de grandes rios em trópicos úmidos.

(Fonte: adaptado de Kobiyama e Goerl, 2007)

As definições dadas nas Tabelas 2.5 e 2.6 são distintas entre si em ambos os casos, mas há concordância entre os autores nelas citados sobre as velocidades e origens das inundações: as inundações bruscas são mais rápidas e originadas de precipitações mais intensas, enquanto as inundações graduais ocorrem em um

³ NFIP - NATIONAL FLOOD INSURANCE PROGRAM. What is a Flood. Disponível em: <www.floodsmart.gov/floodsmart/pages/whatflood.jsp>. Acesso em: mai. 2005.

⁴ NWS/NOAA. 2007. Disponível em: <<http://www.weather.gov/glossary/>>. Acesso em: 05 mar. 2007.

⁵ Castro ALC. 1996. Manual de desastres Vol. 1. Desastres Naturais. Ministério do Planejamento e Orçamento: Brasília; 182.

⁶ Mendiondo, E. M. Flood risk management of urban waters in humid tropics: early warning, protection and rehabilitation. In Workshop on Integrated Urban Water Management in Humid Tropics. UNESCO IHP-VI: Foz do Iguaçu; 1-14. 2005.

período de tempo mais longo, podendo ser originadas de uma precipitação intensa ou outros fatores, como o estado de saturação do solo.

Tabela 2.6. Definições de inundações bruscas

Termo	Autor	Definição
<i>Flash flood</i>	NWS/NOAA (2007) ⁴	Uma inundação causada pela pesada ou excessiva chuva em um curto período de tempo, geralmente menos de 6 horas. Também, às vezes uma quebra de barragem pode causar inundação brusca, dependendo do tipo de barragem e o período de tempo que ocorre a quebra.
<i>Flash flood</i>	CHOUDHURY <i>et al.</i> (2004) ⁷	Inundações bruscas são inundações de curta vida e que duram de algumas horas a poucos dias e originam-se de pesadas chuvas.
<i>Flash flood</i>	KÖMÜŞÇÜ <i>et al.</i> (1998) ⁸	Inundações bruscas são normalmente produzidas por intensas tempestades convectivas, a qual causa rápido escoamento; o dano da inundação geralmente ocorre dentro de horas da chuva que a causa e afeta uma área muito limitada.
Inundação brusca ou enxurrada	CASTRO (2003) ⁵	São provocadas por chuvas intensas e concentradas em regiões de relevo acidentado, caracterizando-se por súbitas e violentas elevações dos caudais, os quais se escoam de forma rápida e intensa.
<i>Flash flood</i>	MENDIONDO (2005) ⁶	É um evento de inundação de curta duração com uma rápida elevação da onda de inundação e rápida elevação do nível das águas. São causadas por pesadas e, geralmente, curtas precipitações, como uma chuva torrencial, em uma área frequentemente pequena.
<i>Flash flood</i>	WMO (1994) ⁹	Em bacias pequenas, de rápida resposta, como as de tempo de concentração menor que seis horas, intensa precipitação pode criar uma inundação brusca.

(Fonte: adaptado de Kobiyama e Goerl, 2007)

⁷ CHOUDHURY, N. Y.; POUL, A.; POUL, B. K. Impact of costal embankment on the flash flood in Bangladesh: a case study. *Applied Geography* 24: 241-258. 2004.

⁸ KÖMÜŞÇÜ, A. Ü.; ERKAN, A.; ÇELİK, S. Analysis of meteorological and terrain features leading to the Izmir flash flood, 3-4 November 1995". *Natural Hazards*, v. 18, pp. 1-25, 1998.

⁹ WMO - World Meteorological Organization. Guide to hydrological practices. WMO: Geneva; n. 168, 735p., 1994

Exemplificando a principal diferença entre as inundações graduais e bruscas, apresenta-se a Figura 2.3, que mostra os níveis de velocidade que ocorrem em ambos

Além dos aspectos técnicos utilizados em análises de inundações, existem as classificações em função dos danos gerados de acordo com as características de cada local. No Brasil, o Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2012) classifica a intensidade de desastres em: desastres de média intensidade (nível I) e de grande intensidade (nível II). O primeiro se caracteriza por uma situação de emergência, na qual os danos são suportados e superáveis pelos governos locais, podendo-se reestabelecer a normalidade com os recursos mobilizados localmente ou disponibilizados pelos governos estaduais e federais. O nível II, porém, caracteriza-se por um estado de calamidade pública, sendo que os danos e prejuízos financeiros não são suportados e superados pelos governos locais e o reestabelecimento da normalidade depende de ações coordenadas do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), ou até mesmo de auxílio internacional.

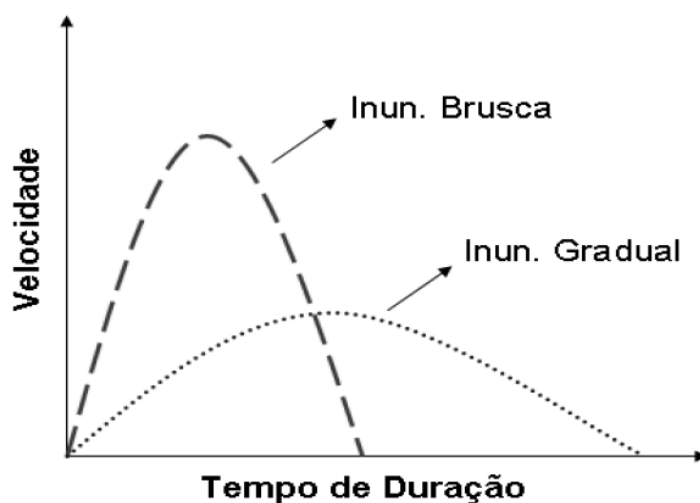


Figura 2.3. Diferença entre inundações bruscas e graduais
(Fonte: Kobiyama *et al.*, 2006)

A normativa de 2012 do Ministério de Integração Nacional (BRASIL, 2012) reafirma que a cada evento de cheia está associado um procedimento distinto de gestão de emergência, uma vez que a magnitude da inundação, a extensão da área inundada, a profundidade de água atingida definem impactos diferentes, por isso faz-se necessário classificar as inundações segundo a sua magnitude e nível de destruição.

Assim, visando estimar a severidade e a magnitude dos eventos de cheia, realizam-se análises hidrológicas através da abordagem usual. O presente trabalho, por sua vez, sugere uma nova abordagem para análise hidrológica de eventos extremos, que vai além do estudo de nível de água e vazões utilizados na abordagem usual.

Nas subseções a seguir, são apresentadas a abordagem usualmente aplicada na análise hidrológica de eventos extremos e uma abordagem alternativa adotada, a qual busca analisar outras características da onda de cheia que não somente os valores máximos de vazão e de nível de água.

2.3.1 Abordagem usual

Chebana *et al.* (2013) afirmam que os procedimentos da análise de frequência hidrológica são essenciais e comumente utilizados em predições de eventos extremos hidrológicos. O principal objetivo da análise de frequência hidrológica é relacionar a magnitude desses eventos à sua frequência de ocorrência, através de distribuições de probabilidade.

Segundo esta abordagem, para se estimar a magnitude de um evento de cheia, utilizam-se as variáveis: vazão no canal, elevação do nível de água e volume de água para um período de duração (CHEBANA *et al.*, 2013).

Entretanto, a intensidade dos eventos é, na realidade, complexa para ser caracterizada, pois os eventos podem ser diferentes por inúmeros aspectos e comportamentos em cada região e podem ser avaliados através de diversos métodos (WANG *et al.*, 2014).

Wang *et al.* (2014), ainda, acreditam que a caracterização de eventos de cheia não é possível sem a utilização de uma série de parâmetros, por eles chamados de indicadores de cheia.

2.3.2 Indicadores de cheia

A intensidade de um evento de cheia pode ser estimada através de diversas variáveis, que, no presente trabalho, são denominadas indicadores de cheias. Estes indicadores são utilizados para a caracterização dos eventos através do agrupamento de cheias.

Wang *et al.* (2014) propõem que se conheçam as características do corpo hídrico em estudo, bem como, o comportamento das cheias da região de estudo. Em seu trabalho, utilizaram como indicadores de cheia as seguintes variáveis: vazão máxima e nível de água máximo, máximo volume em 24 h, máximo volume em 72 h e volume total de cheia.

Ainda, vale ressaltar que estes indicadores, isoladamente, não permitem caracterizar um evento extremo, por isso, a técnica de agrupamento de cheias pode ser utilizada, efetivamente, para analisar os impactos de um evento de cheia sobre determinada região. Deste modo, avaliando conjuntamente os indicadores de cheias escolhidos, é possível determinar a intensidade de um evento (WANG *et al.*, 2014).

Neste contexto, encontra-se o agrupamento de dados, como uma das ferramentas da análise multivariada de dados, cuja revisão de literatura é apresentada a seguir.

2.4 ANÁLISE MULTIVARIADA DE DADOS

De acordo com Lattin *et al.* (2011), *“a análise multivariada diz respeito ao estudo da associação entre conjuntos de medidas”*, podendo ser definida como *“um conjunto de procedimentos para se analisar a associação entre dois ou mais conjuntos de medidas que foram feitas em cada objeto em uma ou mais amostras de objetos”*.

Rencher (2002) e Mingoti (2005) afirmam que esta abordagem tem sido, historicamente, empregada em áreas como a Psicologia, Ciências Sociais e Biologia. Porém, recentemente, o interesse pela análise estatística multivariada vem aumentando em diversas áreas, como, por exemplo, em Geologia, Química, Física e Engenharia.

Os métodos de análise multivariada podem ser classificados de três formas distintas, de acordo com o seu objetivo de aplicação (LATTIN *et al.*, 2011):

1. Em análises de interdependência ou em análises de dependência entre as variáveis;
2. Para exploração ou para confirmação e teste;
3. Para utilização de dados métricos ou de dados não métricos.

Johnson e Wichern (2007) afirmam, porém, que existe uma grande complexidade em se estabelecer uma classificação para as técnicas de estatística multivariada que seja amplamente aceita e que indique a adequação de cada método. Por isso, os autores acreditam que, acima de conseguir se classificar as técnicas multivariadas, está a capacidade de distinguir qual o método e quais os tipos de análises a serem empregados serão eficazes para atingir o objetivo de cada estudo. Buscando atingir os objetivos mais comumente visados nas diversas áreas da Ciência, Johnson e Wichern (2007) destacam cinco deles, apresentados a seguir:

- a) Redução de dados ou simplificação estrutural;
- b) Distribuição e agrupamentos;
- c) Investigação da dependência entre variáveis;
- d) Predição;
- e) Testes de hipótese.

Com as diversas classificações existentes, um método pode pertencer a diferentes categorias. Por isso, apresentam-se a seguir alguns exemplos de métodos de análise multivariada, independente de suas classificações (KAVISKI, 1992; MINGOTI, 2005; JOHNSON; WICHERN, 2007; HAIR JUNIOR *et al.*, 2009; LATTIN, 2011):

- a) Análise de componentes principais;
- b) Análise fatorial;
- c) Análise discriminante;
- d) Análise de regressão multivariada;
- e) Análise de correlações canônicas;
- f) Análise multivariada de variância;
- g) Análise de agrupamentos;
- h) Mapeamento percentual ou escalonamento multidimensional;
- i) Análise de correspondência.

No presente trabalho, a técnica de análise multivariada a ser utilizada é a análise de agrupamento de dados, apresentada no item “g”.

A análise de agrupamento consiste em um método de classificação de objetos, “*de modo que cada objeto seja semelhante aos outros no agrupamento com base em um conjunto de características escolhidas*” (HAIR JUNIOR *et al.*, 2009). Bezdek *et al.* (1983), por sua vez, definem a análise de agrupamento de dados como uma gama de métodos que tentam subdividir um conjunto de dados X em subconjuntos K , chamados de grupos (*clusters*), os quais devem ser conjuntos não vazios e que voltam a ser X por união.

Sendo considerado um tipo especial de classificação, o agrupamento de dados se subdivide de acordo com a Figura 2.4, que apresenta a hierarquia dos tipos de agrupamento (JAIN; DUBES, 1988).

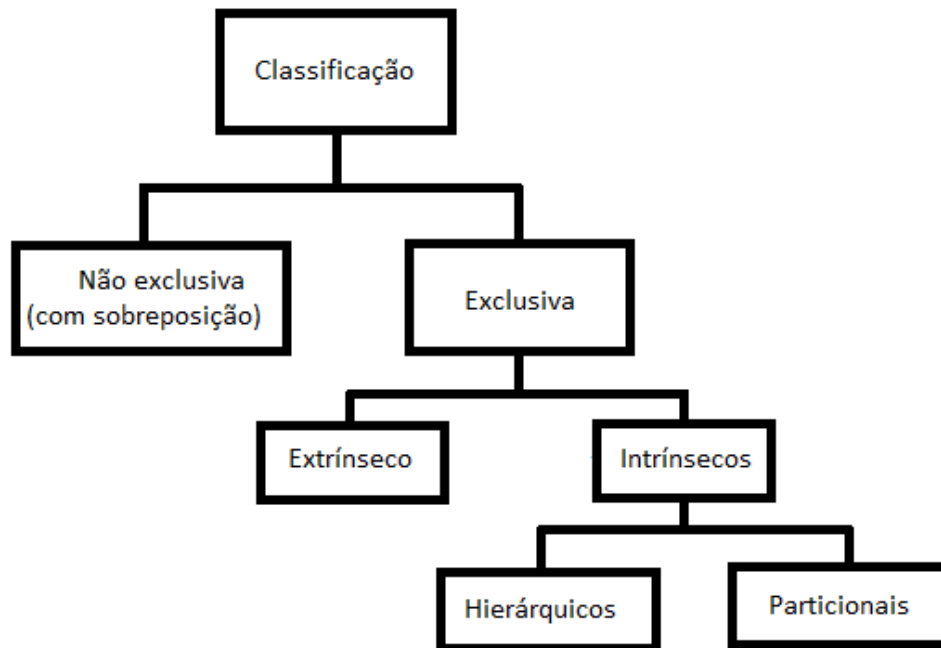


Figura 2.4. Hierarquia dos tipos de agrupamento
(Fonte: adaptado de Jain e Dubes, 1988)

As categorias apresentadas na hierarquia dos tipos de agrupamento (Figura 2.4) são definidas a seguir:

- a) Não exclusiva: um objeto pode apresentar características que o fazem pertencer a mais de um grupo, porém, é possível que este objeto tenha um grau de pertinência maior a um determinado grupo (JAIN; DUBES, 1988);

- b) Exclusiva: cada objeto pertence a um único grupo apenas, sem apresentar graus de similaridade elevados com os demais grupos (JAIN; DUBES, 1988);
- c) Extrínseco: utiliza rótulos de categorias nos objetos e a matriz de proximidade para estabelecer a classificação (JAIN; DUBES, 1988);
- d) Intrínseco: utiliza apenas a matriz de proximidade para estabelecer a classificação (JAIN; DUBES, 1988);
- e) Particionais (ou não hierárquicos): técnicas de agrupamento que não necessitam do cálculo e armazenamento da matriz de proximidade (KAVISKI, 1992);
- f) Hierárquicos: técnicas de agrupamento que analisam a matriz de proximidade, produzindo um dendograma capaz de caracterizar a relação entre as amostras (KAVISKI, 1992). As técnicas hierárquicas de agrupamento podem se dividir, ainda, em aglomerativas, que se iniciam com o número de grupos igual ao número de objetos, e divisíveis, onde um único grupo inicial se subdivide em outros grupos (JOHNSON; WICHERN, 2007).

Os dendogramas, que compõem os métodos hierárquicos de agrupamento, como citado no item “f”, consistem em uma forma de representação gráfica, com formato de árvores, para a apresentação do resultado dos grupos estimados, obtida a partir da matriz de proximidade. A matriz de proximidade, por sua vez, é a medida utilizada para indicar a intimidade entre dois objetos. Quando uma medida de proximidade representa *similaridade*, o valor desta medida aumenta, conforme cresce o grau de familiaridade entre os objetos. Entretanto, se a medida de proximidade representar a *dissimilaridade*, a medida irá aumentar quando diminuir o grau de proximidade entre os dados (TIMM, 2002).

Bezdek *et al.* (1983) também comentam que a ideia da análise de agrupamento é utilizar os valores das variáveis para planejar a melhor maneira de agrupar os dados em classes, impondo que os objetos similares estejam na mesma classe, a fim de reduzir a quantidade de dados em uma amostra.

Apesar da distinção existente entre estas definições, entende-se que para estas subdivisões exigidas pela técnica, é necessária a aplicação de algoritmos que

possam subdividir uma amostra em vários grupos, sem que os dados se repitam dentro dos grupos formados (BEZDEK *et al.*, 1983).

Conhecendo a sua funcionalidade e categorias, as técnicas de agrupamento de dados têm sido aplicadas em diversas áreas de pesquisa, como, por exemplo, a Psicologia, Biologia, Sociologia, Economia, Administração e, também, na Engenharia. Apesar disso, é importante ressaltar que as técnicas não podem ser generalizadas, pois possuem suas peculiaridades, importantes na escolha do método a ser aplicado (HAIR JUNIOR *et al.*, 2009).

Além da dificuldade de determinação do método utilizado em cada área de conhecimento, também existem os problemas na definição dos grupos a serem utilizados nas técnicas de agrupamento e, segundo Bezdek *et al.* (1983), na análise de agrupamento de dados, o número de grupos não é previamente determinado, ou seja, irá depender da semelhança entre os dados.

Por isso, já que é a medida de similaridade que atribui um grupo a um objeto, para Kaviski (1992), a maior dificuldade na aplicação das técnicas de agrupamento está em definir os grupos a serem utilizados, pois é complexo caracterizar a similaridade dentro dos grupos e a dissimilaridade entre os grupos.

Mingoti (2005) afirma que, para criar a matriz de similaridade, em geral, são calculadas distâncias entre os objetos, obtidas a partir de diferentes métodos, produzindo, conseqüentemente, agrupamentos diferenciados. É importante ressaltar também que, conforme diminuem os valores de distância entre os objetos, crescem as similaridades entre eles. Mingoti (2005) ainda apresenta três importantes medidas de distância possíveis de se aplicar na análise de agrupamento de dados: a distância Minkowski, a distância Euclidiana e a distância generalizada ou ponderada, também conhecida como distância Mahalanobis. Estas medidas podem ser definidas como:

- a) Distância Minkowski: as métricas de Minkowski são, por definição, uma norma, e possuem variações, que dão origem a outras medidas de distância, como a própria distância Euclidiana, amplamente empregada, a distância Manhattan e a distância Chebyshev (LINDEN, 2009);
- b) Distância Euclidiana: baseia-se no teorema de Pitágoras e, para um espaço de p dimensões, a distância Euclidiana entre dois pontos pode

ser representada por: $D_{A,B} = \sqrt{\sum_{j=1}^p [(x_{A,j} - x_{B,j})^2]}$, onde A e B são os pontos, p , o número de dimensões, e j as coordenadas dos pontos A e B (JOHNSON; WICHERN, 2007);

- c) Distância Mahalanobis: difere da distância Euclidiana por considerar a correlação entre o conjunto de dados, sendo reduzida à matriz Euclidiana quando a matriz de covariância, necessária ao cálculo das distâncias Mahalanobis, for igual à matriz identidade (LINDEN, 2009).

No presente trabalho, apesar de suas simplificações, a métrica utilizada é a distância Euclidiana, uma vez que as demais métricas citadas exigem mais tempo e memória para a computação dos resultados.

2.4.1 Algoritmos para agrupamento de dados aplicados a diversas áreas da ciência

Visto que as técnicas de agrupamento de dados podem ser aplicadas às várias áreas da Ciência, nesta seção são apresentadas algumas técnicas encontradas na literatura, como, por exemplo: *K-medoids*, *Partitioning Around Medoids* (PAM), *Clustering Large Applications* (CLARA), *Agglomerative Nesting* (AGNES), *Monothetic Analysis* (MONA) e *Support Vector Machine* (SVM).

O primeiro método apresentado é o algoritmo *K-medoids*. Berkhin (2002) e Xavier (2012) apresentam esta ferramenta como um método de agrupamento do tipo partição e relocação. Estes métodos, ao contrário do que ocorre com os métodos hierárquicos, cuja característica fundamental é a falta de habilidade de executar ajustes (ou mudar de grupos), são capazes de melhorar gradualmente os grupos, gerando melhores resultados nos agrupamentos (XAVIER, 2012).

No algoritmo *K-medoids*, o grupo é representado por um de seus pontos (BERKHIN, 2002) e há a utilização de um objeto representativo, chamado *medoid*, localizado próximo ao centro do grupo (XAVIER, 2012). Quando os *medoids* são selecionados, os grupos são definidos como subconjuntos de pontos próximos aos respectivos *medoids* e a função objetivo pode ser definida através de uma medida de dissimilaridade entre um ponto e seu *medoid*, que normalmente é a distância mediana entre eles (BERKHIN, 2002).

Nesta família de algoritmos *K-medoids* também se encontra o *Partitioning Around Medoids* (PAM) (XAVIER, 2012; BERKHIN, 2002). Este método consiste em uma otimização iterativa, que combina a relocação de pontos entre grupos de perspectiva com renomeação de pontos como potenciais *medoids*. O princípio que guia este processo é o efeito de otimização de uma função objetivo, o que, obviamente, é uma estratégia dispendiosa (BERKHIN, 2002). Ainda, é importante ressaltar que o algoritmo PAM possui uma natureza combinatória bastante complexa, fazendo com que o método seja viável apenas para pequenas bases de dados (RODRIGUES, 2009; XAVIER, 2012).

Por isso, Kaufman e Rousseeuw (1986) introduziram o método *Clustering Large Applications* (CLARA), que, de acordo com Berkhin (2002) e Xavier (2012), consiste em uma segunda variação do método *K-medoids* e tem como base a utilização de amostras menores do conjunto original. Entretanto, Xavier (2012) também afirma que a eficiência do método depende, basicamente, do número de amostras utilizadas, e que quanto maior o número de amostras, melhores os resultados obtidos, gerando, assim, um conflito entre a complexidade do problema e a qualidade dos resultados.

Outro exemplo de técnica multivariada citada em Rodrigues (2009) é o algoritmo *Agglomerative Nesting* (AGNES), baseado em um método hierárquico de agrupamento, do tipo aglomerativo. Nesta classificação de métodos de agrupamento, os grupos, no início do processo, são pequenos (formados por todos os objetos), e os elementos de cada um deles possuem um alto grau de similaridade. Depois, os dois objetos mais semelhantes são agrupados e a tabela de distâncias é refeita, através de uma equação de distância inserida ao algoritmo, considerando os objetos agrupados como um só. Na reconstrução da tabela, faz-se necessário o cálculo da distância entre cada objeto que não foi agrupado e o grupo recém-criado, repetindo-se o processo até que restem apenas dois grupos (RODRIGUES, 2009).

Ainda, dada sua representatividade dentre os métodos de agrupamento de dados, há o método *Support Vector Machine* (SVM). As Máquinas de Vetores Suporte (SVM) são “*máquinas de aprendizagem que se baseiam na Teoria da Aprendizagem Estatística, treinadas por meio de um algoritmo supervisionado*” e têm se destacado diante dos métodos de agrupamento devido à sua capacidade de generalização (DUTRA, 2011). As suas principais características, além da boa capacidade de generalização são a robustez em grandes dimensões, convexidade da função objetivo

e uma teoria bem definida (LORENA; CARVALHO, 2003), e podem ser aplicadas à diversas áreas da Ciência, como, por exemplo para a classificação de expressões faciais, detecção de intrusos utilizando base de dados militares, predição de estruturas de proteínas a partir de suas sequências, reconhecimento de textos escritos a mão e para determinar o potencial de danos por terremotos (SEGARAN, 2007).

Por fim, dentre as técnicas de agrupamento que não tiveram aplicação encontrada na literatura na área de Engenharia de Recursos Hídricos, são citadas por Rodrigues (2009) as técnicas *Divisive Analysis* (DIANA) e *Monethic Analysis* (MONA).

2.4.2 Algoritmos aplicados ao agrupamento de dados hidrológicos

Algumas das técnicas de agrupamento aplicadas a dados hidrológicos encontradas na literatura são apresentadas a seguir.

2.4.2.1 Self-organizing feature map (SOFM)

Este método, também conhecido como *Kohonen Neural Network* ou *Artificial Neural Network*, consiste em um modelo realista, porém bastante simplificado do cérebro humano (KOHONEN, 1997), simulando os neurônios, que se conectam uns aos outros através dos dendritos. É este conceito de como funcionam os neurônios no cérebro humano que pode ser representado pelo *Artificial Neural Network* (ROSS, 1995).

O *Artificial Neural Network* tem como objetivo capturar a topologia e a distribuição de probabilidades dos dados de entrada, tendo como vantagem a redução do espaço de entrada em características representativas através do processo de “auto-organização” (JINGYI; HALL, 2004). Ainda, os autores afirmam que o método tem sido aplicado em vários outros trabalhos, para o reconhecimento de padrões e classificação, e a identificação de bacias hidrográficas pode ser citada como um exemplo da aplicação do SOFM em classificação de dados. No trabalho de Jingyi e Hall (2004), o método foi aplicado como uma técnica de regionalização.

Aplicado amplamente como técnica de agrupamento de dados em estudos de regionalização, inclusive no trabalho de Jingyi e Hall (2004), já citado, Srinivas *et al.* (2007) afirmam que o método *self-organizing feature map* (SOFM) não consiste, exatamente, em uma técnica de agrupamento de dados, apesar de trabalhar

satisfatoriamente. Isso se deve ao fato de raramente ser possível interpretar os resultados do agrupamento através do SOFM, independente das dimensões do problema, por isso, a aplicação do SOFM tem se dado como uma primeira etapa em algoritmos de agrupamento, por isso, Lampinen e Oja (1992) propuseram a aplicação do SOFM em dois níveis, onde as saídas do primeiro SOFM são atribuídas como entradas a um segundo SOFM. Assim, Ross (1995) recomenda que se utilize esta ferramenta quando se trabalha com sistemas de natureza dinâmica, ou seja, quando os parâmetros utilizados se alteram de modo não determinístico, fazendo com que as funções de associação sejam atualizadas repetidamente.

2.4.2.2 K-means

Segundo Chang *et al.* (2010), o algoritmo *K-means* é um dos métodos de agrupamento mais simplificados, mas são computacionalmente eficientes e geram resultados satisfatórios, desde que os grupos sejam compactos e bem delimitados no espaço característico.

A ideia principal do algoritmo *K-means* é a partição de um conjunto de N dados em K grupos, mutualmente exclusivos, e a atribuição de cada objeto ao grupo que possuir o centro mais próximo ao objeto (BURN; GOEL, 2004; CHANG *et al.*, 2010), utilizando a função do erro-quadrático como critério de índice de desempenho para atribuir os centros dos grupos aos objetos (CHANG *et al.*, 2010).

O algoritmo *K-means* vem sendo aplicado a diversas áreas da Ciência, incluindo o Reconhecimento de Imagem, a Biologia e a Hidrologia (CHANG *et al.*, 2010). Para os estudos hidrológicos, foram encontradas na literatura aplicações do algoritmo *K-means* em Burn e Goel (2004), Lin e Chen (2004) e Chang *et al.* (2010).

Burn e Goel (2004) utilizaram o algoritmo *K-means* como método para analisar a frequência de inundações em uma determinada região na Índia, reproduzindo resultados satisfatórios, enquanto que Lin e Chen (2004) utilizaram o método *K-means* como critério de comparação de seus resultados para a criação de um modelo chuva-vazão não linear, e afirmam que o algoritmo *K-means* possui certas desvantagens diante dos demais métodos utilizados, devido às suas simplificações.

Chang *et al.* (2010), por sua vez, utilizaram este algoritmo a fim de subdividir a área de estudo de acordo com suas características de inundação, e identificar os

pontos de controle de cada um dos grupos formados, dando, o algoritmo *K-means*, o suporte necessário para os estudos desenvolvidos pelos autores.

Assim, percebe-se que este algoritmo é, raramente, empregado como ferramenta principal para os estudos hidrológicos desenvolvidos, devido à sua simplicidade, por isso, pode não representar um método satisfatório para a geração de grupos de eventos de cheia no presente trabalho.

2.4.2.3 Fuzzy c-means

O algoritmo *fuzzy c-means* (fcm), outro método de agrupamento de dados, é baseado na lógica difusa, introduzida por Lotfi A. Zadeh, da Universidade da Califórnia, em 1965. O princípio da lógica difusa no agrupamento de dados é estabelecer as semelhanças que um dado da amostra compartilha com cada grupo, através da aplicação de uma função objetivo (BEZDEK *et al.*, 1983), e representar a incerteza inerente aos dados reais (SATO-ILIC; JAIN, 2006)

Sato-Ilic e Jain (2006) afirmam também que, ao contrário do conceito de conjunto clássico, que determina, ou não, o pertencimento de certo dado da amostra a um determinado grupo, na lógica difusa, o pertencimento de um dado da amostra ao grupo não é claro. Ou seja, enquanto que, no primeiro caso, os objetos podem retornar apenas os valores 0 e 1 à função de pertinência a um certo grupo, na lógica difusa a matriz de pertinência admite valores no intervalo 0 e 1, permitindo que os objetos se relacionem com todos os grupos, em maior ou menor grau, dependendo do grau de pertinência apresentado. Dentro deste intervalo, para Bezdek *et al.* (1983), quando os valores das associações são elevadas (próximas de 1), existe um alto grau de semelhança, ou de pertinência, entre a amostra e o grupo, enquanto que aqueles que estão perto do zero, implicam em pouca semelhança.

É importante ressaltar também que o algoritmo *fuzzy c-means*, tem como objetivo minimizar a sua função objetivo, que é recalculada a cada passo do algoritmo a partir do grau de pertencimento citado acima, ou seja, a partir da matriz de similaridade (WANG *et al.*, 2014). O método completo é apresentado no Capítulo 3 deste trabalho (Materiais e Métodos), uma vez que o algoritmo *fuzzy c-means* foi utilizado nesta dissertação como técnica de agrupamento de cheias, pois, dentre as técnicas baseadas na lógica difusa, é o que apresentou maior número de aplicações em Recursos Hídricos, de acordo com a literatura encontrada.

Dentre as aplicações do algoritmo *fuzzy c-means* encontradas na literatura, tem-se uma classificação de regiões hidrologicamente homogêneas, realizada por Hall e Minns (1999), da mesma forma que Gibertoni (2002), Jingyi e Hall (2004) e Sadri e Burn (2011), a fim de obterem uma regionalização de parâmetros hidrológicos para suas respectivas áreas de estudo, aplicaram esta técnica em seus trabalhos. Wang *et al.* (2014), ainda, aplicaram o método *fuzzy c-means* (fcm) em um agrupamento de cheias, a fim de reconhecer a intensidade e magnitude dos eventos, bem como, as características semelhantes entre eles. Assim, diante da aplicabilidade do algoritmo *fuzzy c-means* à Engenharia de Recursos Hídricos e à Hidrologia, inclusive, aplicou-se esta ferramenta no presente estudo, a fim de se obter um número adequado de grupos de cheias, com características intrínsecas semelhantes.

Ainda, para a aplicação adequada do algoritmo *fuzzy c-means*, Wang *et al.* (2014) sugerem que, antes da aplicação do método, seja realizado um tratamento inicial da amostra, a fim de eliminar as diferenças de unidades e dimensões entre as variáveis analisadas, pois, normalmente, as medidas realizadas para cada objeto da amostra possuem diferentes significados físicos e, conseqüentemente, diferentes unidades de medida. Para isso, Wang *et al.* (2014) propõem três tipos de tratamento inicial de dados:

- a) Centro médio (*mean centering*): é a subtração da média de cada dado da amostra, a fim de evitar que os dados mais distantes do centro exerçam maior influência que os mais próximos;
- b) Normalização (*normalization*): aplicada a cada coluna da amostra de dados, gerando valores adimensionais no intervalo 0 e 1;
- c) Auto-scaling: é composto pelo método do centro médio, seguido da aplicação da normalização, ou seja, realiza a comparação dos dados a partir de suas correlações.

No presente trabalho, a técnica de normalização foi adotada como método de pré-tratamento das informações, por isso, no capítulo 3 (Materiais e Métodos) são apresentados detalhes sobre esta ferramenta de tratamento inicial de informações.

Assim, tendo conhecimento dos conceitos que envolvem esta dissertação, especialmente a respeito dos desastres naturais e técnicas de agrupamento de

cheias, no próximo capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento deste estudo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo como objetivo desta pesquisa analisar e agrupar cheias observadas em uma determinada região, a partir de dados observados, a fim de se identificar características semelhantes entre os eventos de um mesmo grupo, nesta seção apresenta-se a área de estudo do trabalho, bem como, os procedimentos metodológicos envolvidos para o cumprimento do objetivo citado.

Inicialmente, são apresentadas algumas informações básicas, procurando caracterizar a área de estudo que compreende a bacia do rio Iguaçu, delimitada pela Estação Fluviométrica União da Vitória (65310000), com área de drenagem de aproximadamente 24.200 km².

Na sequência, procurou-se detalhar os métodos aplicados neste trabalho, com ênfase na descrição do algoritmo *fuzzy c-means*, utilizado para a análise de agrupamento das cheias máximas anuais observadas na Estação Fluviométrica União da Vitória (65310000).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Devido à sua importância histórica para a região em que se encontra e aos recorrentes eventos de cheias observadas no rio Iguaçu, adotou-se a cidade de União da Vitória, no Estado do Paraná, como objeto de estudo do presente trabalho.

O município de União da Vitória pertence à região sudeste do Estado do Paraná. A Figura 3.1 apresenta a localização geográfica de União da Vitória no Estado, bem como, os municípios limítrofes. Os municípios apresentados na Figura 3.1 pertencem ao Estado do Paraná, assim como União da Vitória, exceto pela cidade de Porto União, que, na imagem, simboliza a divisa entre os Estados do Paraná e Santa Catarina.

A cidade de União da Vitória formou-se às margens do rio Iguaçu, e propiciou o desenvolvimento socioeconômico da região, contribuindo como meio de transporte de passageiros e mercadorias, além de favorecer a pesca, o lazer, a dessedentação e a geração de energia. Essa relação do município de União da Vitória com o rio

Iguaçu existe desde o início da formação da cidade, em 1842, quando os primeiros habitantes da região, através de uma passagem rasa encontrada no rio, conseguiram atravessar suas tropas, a fim de encurtar os caminhos entre Palmas e Palmeira (ROCHA, 2012). Anos depois, em 1890, União da Vitória foi desmembrada da cidade a qual era subordinada, Palmas, e elevada à categoria de município (IBGE, 2015).



Figura 3.1. Localização geográfica do município de União da Vitória
(Fonte: União da Vitória, 2002 ¹⁰ *apud* Rocha, 2012)

Com o passar dos anos, houve um crescimento da população de União da Vitória e, em 1922, quando ocorreu o primeiro recenseamento, a cidade contava com 10.527 habitantes. Devido ao seu desenvolvimento e destaque na região, o município passou a ser visto como um grande polo do sul do Paraná e do norte de Santa Catarina, fazendo com que a população aumentasse ainda mais (ROCHA, 2012). A Figura 3.2 apresenta o crescimento da população a partir de 1922. Até o ano de 2010, os dados foram obtidos a partir das pesquisas censitárias; para o ano de 2015, a população foi estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015). A partir dos dados apresentados na Figura 3.2 é possível perceber que o maior crescimento da população em União da Vitória ocorreu na década de 70, quando a população aumentou em cerca de 10.000 habitantes em apenas 10 anos, ou seja, quase mil habitantes por ano.

¹⁰ UNIÃO DA VITÓRIA, Prefeitura Municipal. Arquivos, 2002.

É importante salientar, ainda, que a população de União da Vitória é a mais significativa na região em que se encontra, chegando a quase 60.000 habitantes, enquanto que nos municípios limítrofes (Figura 3.1), a população não atinge 20.000 habitantes, com exceção de Porto União, que é constituída por 34.882 habitantes (IBGE, 2015).

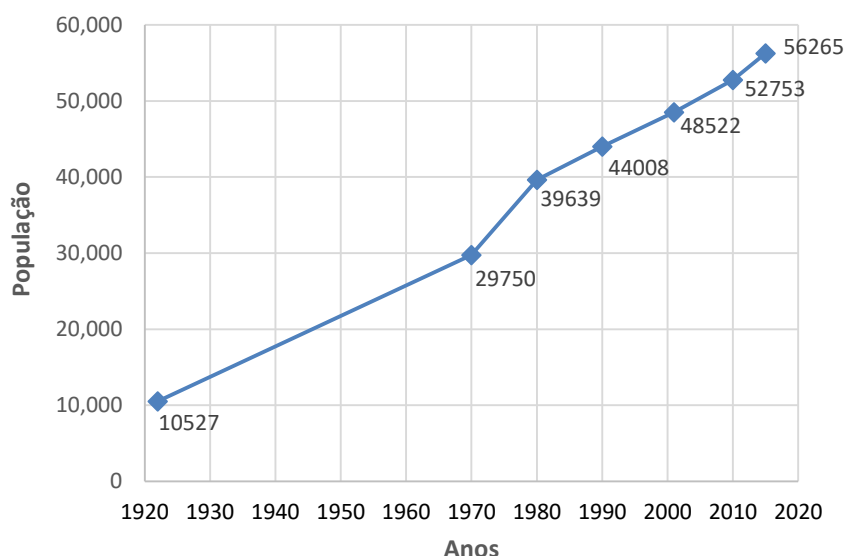


Figura 3.2. População de União da Vitória, de 1922 a 2015
(Fonte: IBGE, 2015)

A população está distribuída em uma área territorial de 720 km², com um grau de urbanização de aproximadamente 95%. Isso, juntamente com as condições de solo e topografia da região (solos eluviais, de estrutura argilo-arenosa, ácidos e de pouca fertilidade e topografia bastante acidentada), dificulta as atividades agropecuárias da região (ROCHA, 2012). Por isso, a sua economia é sustentada, em primeiro lugar, pelo setor de prestação de serviços, seguida pela atividade industrial (IBGE, 2015). A Figura 3.3 evidencia esta situação, apresentando o Produto Interno Bruto (PIB) de União da Vitória para os três setores contribuintes.

Na ocorrência das grandes cheias do rio Iguaçu, em União da Vitória, um município majoritariamente urbano, as áreas atingidas são bastante significativas para a economia da região, prejudicando o município com a interrupção das atividades que o suportam economicamente e até com a interdição de vias de acesso a outras localidades. A população, por se concentrar, em sua maioria, também na zona urbana, sofre com as consequências oriundas de eventos extremos máximos ocorridos no rio

Iguaçu, uma vez que suas casas, atingidas pela água, podem ficar longos períodos inundadas, gerando a perda de bens de consumo, e demandando a evacuação das residências atingidas.

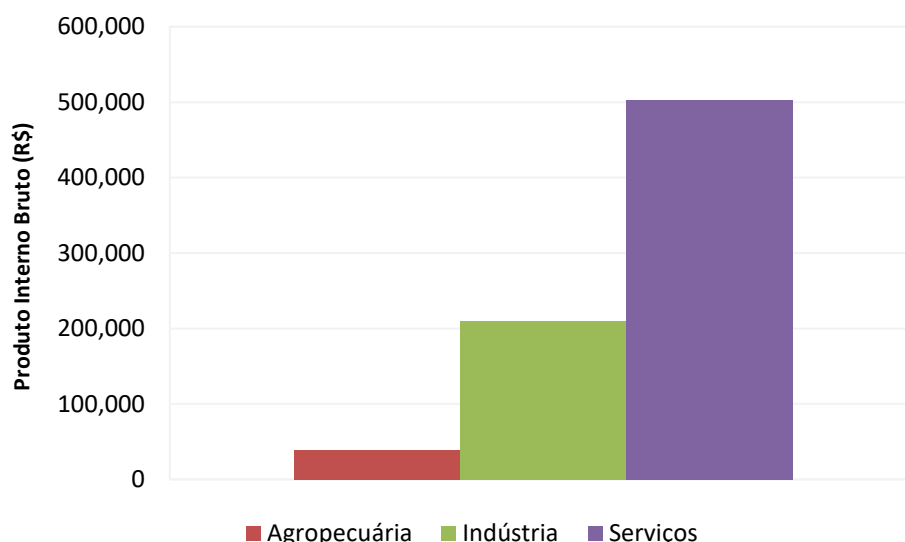


Figura 3.3. Produto Interno Bruto de União da Vitória, de 2010
(IBGE, 2015)

3.1.1 Caracterização fisiográfica e climatológica da bacia hidrográfica

O rio Iguaçu possui uma extensão de 1.320 km, cruzando quase todo o Estado do Paraná, desde a Serra do Mar até sua foz no rio Paraná (SEMA, 2010). Localiza-se entre os paralelos 25° 00' e 27° 00' de latitude sul e os meridianos 54° 30' e 49° 00' de longitude oeste e apresenta um relevo bastante irregular, caracterizando-se por baixas declividades e vales amplos, em seu trecho superior, e altas declividades e vales rochosos estreitos, nos trechos médio e inferior (MINE; TUCCI, 2002).

A bacia hidrográfica do rio Iguaçu possui uma área de drenagem total de 70.800 km², dividida, em sua maioria, entre os Estados do Paraná e Santa Catarina, e uma pequena parcela com a Argentina (ROCHA, 2012). Esta vasta região é, ainda, subdividida em três trechos, de acordo com a resolução Nº 49/2006/CERH/PR, definindo as três Unidades Hidrográficas de Gestão de Recursos Hídricos do Iguaçu: Alto Iguaçu, Médio Iguaçu e Baixo Iguaçu. O município de União da Vitória, por sua vez, situa-se no trecho médio da bacia do Iguaçu (SEMA, 2010). Na Figura 3.4, estas

Unidades Hidrográficas são definidas, respectivamente, pelos números 2, 11 e 12, destacando-se também a localização de União da Vitória no Estado do Paraná.

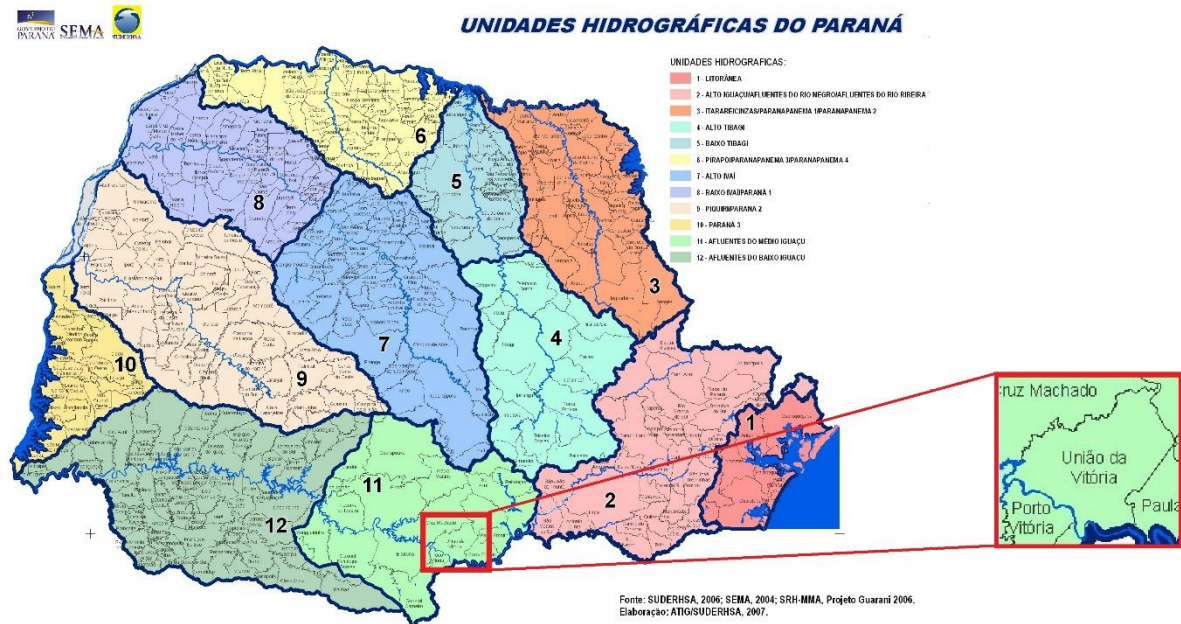


Figura 3.4. Localização de União da Vitória, no trecho médio da bacia do Iguaçu (adaptado de ÁGUAS PARANÁ, 2016)

Para a classificação climática da área em estudo, por sua vez, utilizou-se a classificação de Köppen. União da Vitória se encontra em uma região de clima *Cfb*, ou seja, é uma região de clima subtropical e temperado, sem estação seca definida e com verões amenos (SMA, 2015). A Figura 3.5 apresenta a classificação climática de Köppen para o estado do Paraná, destacando-se a região de União da Vitória.

A partir da Figura 3.5 também é possível perceber que o trecho do Alto Iguaçu e grande parte do trecho do Médio Iguaçu apresentam clima do tipo *Cfb*, de acordo com a classificação de Köppen, enquanto que o trecho do Baixo Iguaçu apresenta clima do tipo *Cfa*, ou seja, clima subtropical e temperado, sem estação seca definida e com verões quentes, de acordo com a mesma classificação (SMA, 2015).

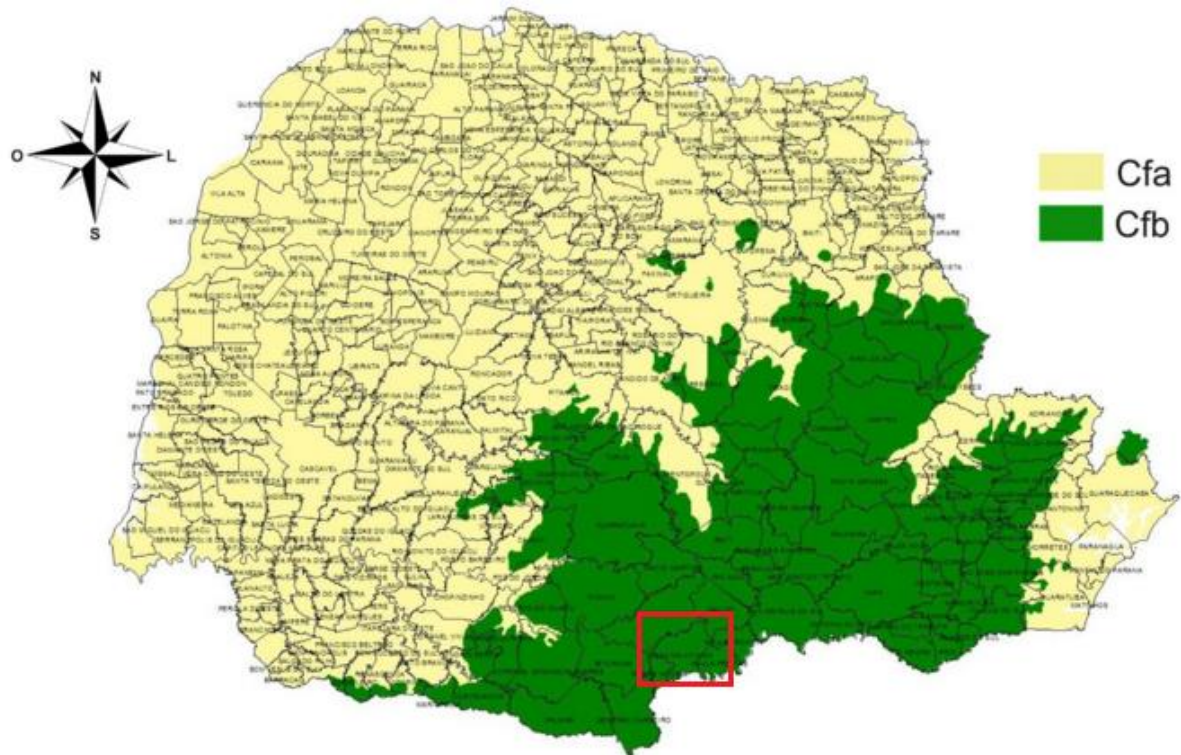


Figura 3.5. Classificação climática segundo Köppen
(adaptado de SMA, 2015)

3.1.2 Caracterização hidrológica da bacia hidrográfica

Segundo Castanharo *et al.* (2005), a vazão média anual do rio Iguaçu fica em torno de 1.414 m³/s (aproximadamente 20 L/s/km²), atingindo 2.506 m³/s (aproximadamente 35 L/s/km²) nos meses de cheia. Destaca-se, porém, que na maior cheia história observada, a cheia de julho de 1983, a vazão atingiu 35.600 m³/s (500 L/s/km²) em sua foz.

Na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), por sua vez, a vazão média é de cerca de 500 m³/s (20 L/s/km²), tornando-se de quatro a seis vezes maior nos períodos de cheia (COPEL, 1995¹¹ *apud* ROCHA, 2012). Na maior cheia registrada na região, em 1983, a vazão de pico atingiu 5.157 m³/s (210 L/s/km²), quase 10 vezes maior que a vazão média da estação.

¹¹ COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. Usina Hidrelétrica Foz do Areia, rio Iguaçu, Paraná, Brasil: memória técnica. Curitiba, PR: COPEL, 1995.

No Capítulo 4, Análise de Resultados, apresenta-se uma análise mais detalhada da série de vazões observadas na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), no período compreendido entre os anos de 1931 e 2015.

3.2 MÉTODOS

Neste trabalho, adotou-se o algoritmo *fuzzy c-means* como método de agrupamento de cheias históricas observadas na estação fluviométrica União da Vitória (65310000). Para a aplicação deste método, faz-se necessário o desenvolvimento das seguintes etapas:

Etapas 1 – Levantamento de dados:

- a) Níveis de água e vazão na estação fluviométrica União da Vitória (65310000);
- b) Níveis de água na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800);
- c) Curva de descarga na estação fluviométrica União da Vitória (65310000);
- d) Cota de extravasamento;

Etapas 2 – Correção das vazões em União da Vitória:

- a) Preenchimento de falhas na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800);
- b) Correção das vazões em União da Vitória;

Etapas 3 – Caracterização hidrológica da área de estudo;

Etapas 4 – Seleção das cheias máximas anuais;

Etapas 5 – Definição e cálculo dos indicadores de cheia;

Etapas 6 – Análise inicial dos indicadores de cheia:

- a) Ranqueamento das 10 maiores cheias anuais em União da Vitória;
- b) Análise de correlação;
- c) Tratamento inicial dos indicadores de cheia;

Etapas 7 – Desenvolvimento e avaliação do programa computacional de agrupamento de cheias:

- a) Método *fuzzy c-means*;
- b) Programa desenvolvido;
- c) Avaliação inicial do programa;

Etapas 8 – Agrupamento de cheias máximas anuais.

3.2.1 Levantamento dos dados

Nesta seção são apresentados os dados coletados para o desenvolvimento do presente trabalho.

3.2.1.1 Níveis de água e vazão em União da Vitória

Os dados de entrada utilizados no desenvolvimento deste trabalho são referentes à estação fluviométrica União da Vitória (65310000), cuja responsável é a Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Esta estação se localiza nas coordenadas de 26° 13' 37" de latitude sul e 51° 04' 48" de longitude oeste, abrangendo uma área de drenagem de aproximadamente 24.200 km². Sua instalação foi realizada em 21 de maio de 1930, com dados diários divulgados até dezembro de 2015, até o momento da pesquisa realizada para o presente estudo, resultando, portanto, em uma série de 85 anos completos de dados diários observados. É importante ressaltar, ainda, que, devido à instalação da estação fluviométrica União da Vitória (65310000) não ocorrer no primeiro dia do ano de 1930, os dados deste ano foram desconsiderados.

3.2.1.2 Níveis de água em Porto Vitória

Devido à implantação da Usina Hidrelétrica Foz do Areia em 1980, fez-se necessária a correção dos dados de vazão da estação fluviométrica União da Vitória (65310000) a partir dos dados de nível da estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800), a jusante da estação fluviométrica União da Vitória (65310000) e a montante da Usina Hidrelétrica de Foz do Areia. Por isso, também foram coletados os dados de níveis de água na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800), uma vez que a estação fluviométrica União da Vitória sofre influência de jusante (de Porto Vitória).

A responsável pela estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800) também é a Companhia Paranaense de Energia (COPEL), e esta estação se localiza nas coordenadas de 26° 09' 55" de latitude sul e 51° 13' 41" de longitude oeste, abrangendo uma área de drenagem de aproximadamente 24.900 km².

A partir das duas estações fluviométricas citadas nas Seções 3.2.1.1 e 3.2.1.2, e devido à influência da Usina Hidrelétrica de Foz do Areia a partir de 1980, os dados coletados para o desenvolvimento do trabalho foram divididos em dois períodos: de 1931 a 1979, e de 1980 a 2015. Assim, os dados coletados foram:

1. Vazão diária observada na estação fluviométrica União da Vitória (65310000) para o período de 1931 a 1979;
2. Níveis de água diários observados na estação fluviométrica União da Vitória (65310000) para o período de 1931 a 2015;
3. Níveis de água diários observados na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800) para o período de 1980 a 2015.

3.2.1.3 Curva de descarga

Uma vez que as vazões e níveis de água na estação fluviométrica União da Vitória (65310000) sofrem influência dos níveis de água a jusante, na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800), a curva de descarga da estação fluviométrica União da Vitória (65310000) é composta por uma família de curvas, válida a partir de 1980, como representa a Figura 3.6.

Na Figura 3.6, a curva de descarga natural de União da Vitória foi construída a partir de dados observados (Anexo A), enquanto que as demais curvas foram obtidas a partir dos diversos níveis de água na estação fluviométrica R5 Porto Vitória.

Esta família de curvas de descarga da estação fluviométrica União da Vitória (65310000) foi utilizada para determinar a vazão correspondente à cota de extravasamento utilizada neste trabalho.

Nas próximas etapas do presente estudo, a família de curvas de descarga se aplica ao programa computacional desenvolvido pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL), e são utilizadas a fim de calcular os valores de vazão em União da Vitória, conhecendo-se os dados em Porto Vitória, como é apresentado na sequência, na Seção 3.2.2.

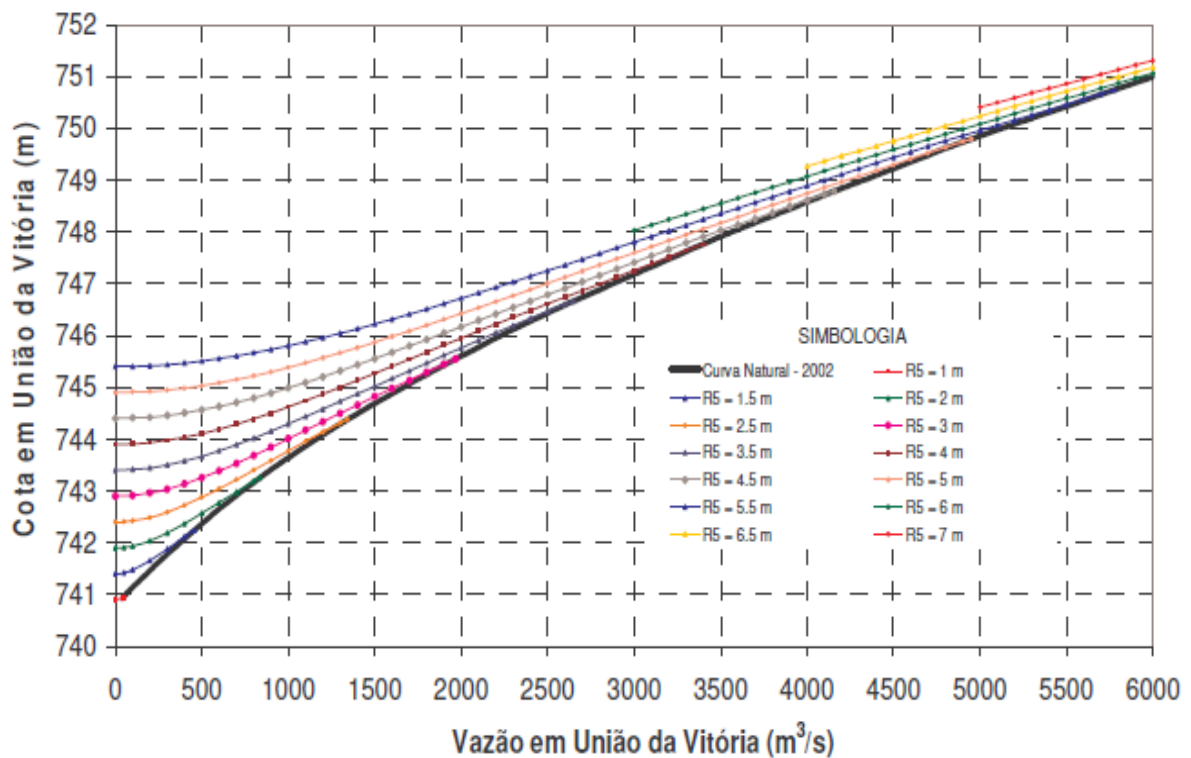


Figura 3.6. Família de curvas de descarga da estação fluviométrica União da Vitória (65310000)
(Fonte: Castanharo e Buba, 2008)

3.2.1.4 Cota de extravasamento

Outra informação importante para o presente estudo é a cota de extravasamento do rio Iguaçu, na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), ou seja, a cota que caracteriza a ocorrência de inundação na região de União da Vitória. Desde a década de 70, existem diversos estudos que recomendam a desapropriação de áreas abaixo da cota de 744,50 m no município e, devido a isso, anos depois, a COPEL (Companhia Paranaense de Energia) realizou esta desapropriação, a fim de gerar uma área de segurança para a operação do reservatório da Usina Hidrelétrica de Foz do Areia, pertencente à empresa (ROCHA, 2012).

Portanto, adotou-se a cota 744,50 m como a cota de extravasamento, ou seja, níveis de água acima da cota 744,50 m caracterizam inundação na região de União da Vitória.

3.2.2 Correção das vazões em União da Vitória

Devido à implantação da Usina Hidrelétrica do Foz do Areia em 1980, fez-se necessária a correção dos dados da estação fluviométrica União da Vitória (65310000) a partir dos dados da estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800). Esta correção foi aplicada aos dados dos anos de 1980 a 2015, resultando em séries de dados diários de vazão e níveis de água compostas por:

1. Níveis de água observados na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), no período de 1931 a 2015, obtidos a partir do Instituto de Águas do Paraná;
2. Níveis de água observados na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800), no período de 1980 a 2015, obtidos a partir do Instituto de Águas do Paraná e utilizados para correção das vazões em União da Vitória neste período;
3. Vazões observadas na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), no período de 1931 a 1979, obtidas a partir do Instituto de Águas do Paraná;
4. Vazões corrigidas para a estação fluviométrica União da Vitória (65310000) no período de 1980 a 2015, calculadas através do programa computacional fornecido pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL), a partir dos dados de níveis de água das estações fluviométricas União da Vitória (65310000) e R5 Porto Vitória (65365800).

Entretanto, os níveis de água na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800) continham um período de falhas de 23 dias consecutivos, entre julho e agosto de 1982. Para o preenchimento das falhas deste período foram construídas as curvas de permanência de níveis de água das estações fluviométricas União da Vitória (65310000) e R5 Porto Vitória (65365800), uma vez que existe uma relação entre as duas estações utilizadas.

Construídas as curvas de permanência das estações fluviométricas citadas, e conhecendo os níveis de água em União da Vitória para o mesmo período em que há falhas em Porto Vitória, tem-se a permanência de cada nível de água em União da

Vitória. Considerando a mesma permanência para Porto Vitória, através da curva de permanência deste ponto, tem-se o nível de água em Porto Vitória correspondente (ou preenchimento da falha). A Equação (3.1) representa o método utilizado para o preenchimento de falhas em Porto Vitória.

$$h_{i,UV} \rightarrow p_{i,UV} = p_{i,PV} \rightarrow h_{i,PV} \quad (3.1)$$

onde: $h_{i,UV}$ = nível de água conhecido em União da Vitória, correspondente à i -ésima falha em Porto Vitória (m);

$p_{i,UV}$ = permanência do i -ésimo nível de água em União da Vitória (%);

$p_{i,PV}$ = permanência do i -ésimo nível de água em Porto Vitória (%);

$h_{i,PV}$ = nível de água estimado em Porto Vitória, correspondente à i -ésima falha em Porto Vitória (m).

3.2.3 Caracterização hidrológica da área de estudo

Nesta seção são apresentadas algumas análises preliminares dos dados observados coletados.

3.2.3.1 Níveis de água

Para o presente estudo, analisaram-se os níveis de água máximos obtidos a partir da leitura da régua, na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), em escalas diária, mensal e anual.

Além disso, foi necessário determinar o limiar de extravasamento, ou seja, o nível de água cuja superação indicava o extravasamento na região de estudo. Este nível foi obtido a partir da cota do zero da régua, correspondente a 739,61 m, e da cota de desapropriação da área ribeirinha ao rio Iguaçu em União da Vitória, igual a 744,50 m. Portanto, pela diferença entre as duas cotas citadas, tem-se que o nível de água (leitura da régua) cuja superação representa o extravasamento é igual a 4,89 m.

3.2.3.2 Vazões

As vazões históricas, de 1931 a 1979, e as vazões estimadas, do período de 1980 a 2015, para a estação fluviométrica União da Vitória (65310000) foram analisadas em escalas diária, mensal e anual, avaliando-se seus dados mínimos, médios e máximos.

Depois, identificou-se a vazão correspondente ao extravasamento do rio Iguaçu no ponto em estudo, através da família de curvas de descarga e do nível de água de extravasamento apresentados nas Seções 3.2.1.3 e 3.2.3.1, respectivamente. A partir da família de curvas de descarga, tem-se 4 valores de vazão correspondentes à cota de desapropriação, igual a 744,5 m, adotou-se, portanto, o menor valor, equivalente a 1.387 m³/s, como vazão de extravasamento. Este limiar de extravasamento foi considerado para toda a série trabalhada, ou seja, de 1931 a 2015.

3.2.4 Seleção das cheias máximas anuais

A partir dos dados diários de vazão observadas e estimadas na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), foram construídos os hidrogramas anuais relativos ao período de 1931 a 2015, a fim de descobrir quais anos tiveram uma, ou mais, ocorrências de cheias, quais foram os maiores eventos registrados e em que período do ano ocorreram.

Para cada ano, foi selecionada a máxima onda de cheia, a qual continha, em geral, a máxima vazão observada no respectivo ano. Para cada onda de cheia selecionada, foram identificados os menores valores de vazões observadas, à esquerda e à direita do pico de cheia, os quais correspondem, respectivamente, às vazões de início e fim do hidrograma de cheia.

Selecionado o hidrograma de cheia, era necessário identificar os pontos de início e fim do extravasamento, nos anos em que houve a superação do limiar de extravasamento. Em alguns casos, estes instantes eram conhecidos a partir dos dados observados, ou seja, a vazão observada era igual à vazão do limiar de extravasamento (1.387 m³/s). Porém, na maioria dos anos, os dados diários não continham leitura igual à vazão de extravasamento (1.387 m³/s), mas sim valores

imediatamente inferiores e superiores a este referencial. Por isso, fez-se necessário o cálculo dos instantes de início e fim de extravasamento.

Por isso, para o cálculo dos instantes de início e fim de extravasamento, adotou-se a hipótese de linearidade entre os dados observados em dois dias consecutivos, possibilitando o cálculo dos instantes de início e fim do extravasamento através de interpolação linear. A Equação (3.2) apresenta a interpolação linear para obtenção dos instantes de início e fim do extravasamento.

$$\frac{(Q_{sup} - Q_{inf})}{(t_{sup} - t_{inf})} = \frac{(Q_{ref} - Q_{inf})}{(t_{ext} - t_{inf})} \quad (3.2)$$

onde: Q_{sup} = vazão lida imediatamente superior à vazão de referência (m^3/s);

Q_{inf} = vazão lida imediatamente inferior à vazão de referência (m^3/s);

Q_{ref} = vazão de referência, igual a $1.387 m^3/s$;

t_{sup} = instante de vazão lida imediatamente superior à vazão de referência;

t_{inf} = instante de vazão lida imediatamente inferior à vazão de referência;

t_{ext} = instante de extravasamento ou instante com vazão igual a $1.387 m^3/s$.

Isolando-se t_{ext} na Equação (3.2), obtém-se o instante de extravasamento, conforme a Equação (3.3).

$$t_{ext} = t_{inf} + \frac{(Q_{ref} - Q_{inf})(t_{sup} - t_{inf})}{(Q_{sup} - Q_{inf})} \quad (3.3)$$

A Figura 3.7 apresenta a descrição das variáveis utilizadas no cálculo do instante de extravasamento (t_{ext}).

É importante ressaltar que, na Figura 3.7, o instante t_{ext} corresponde ao instante de extravasamento antes da vazão de pico ($Q_{máx}$), portanto, o instante de início do extravasamento. Para o cálculo do instante de fim do extravasamento, também é utilizada a Equação (3.3), porém, os parâmetros para o cálculo serão os valores ocorridos depois da vazão de pico ($Q_{máx}$), como mostra a Figura 3.8.

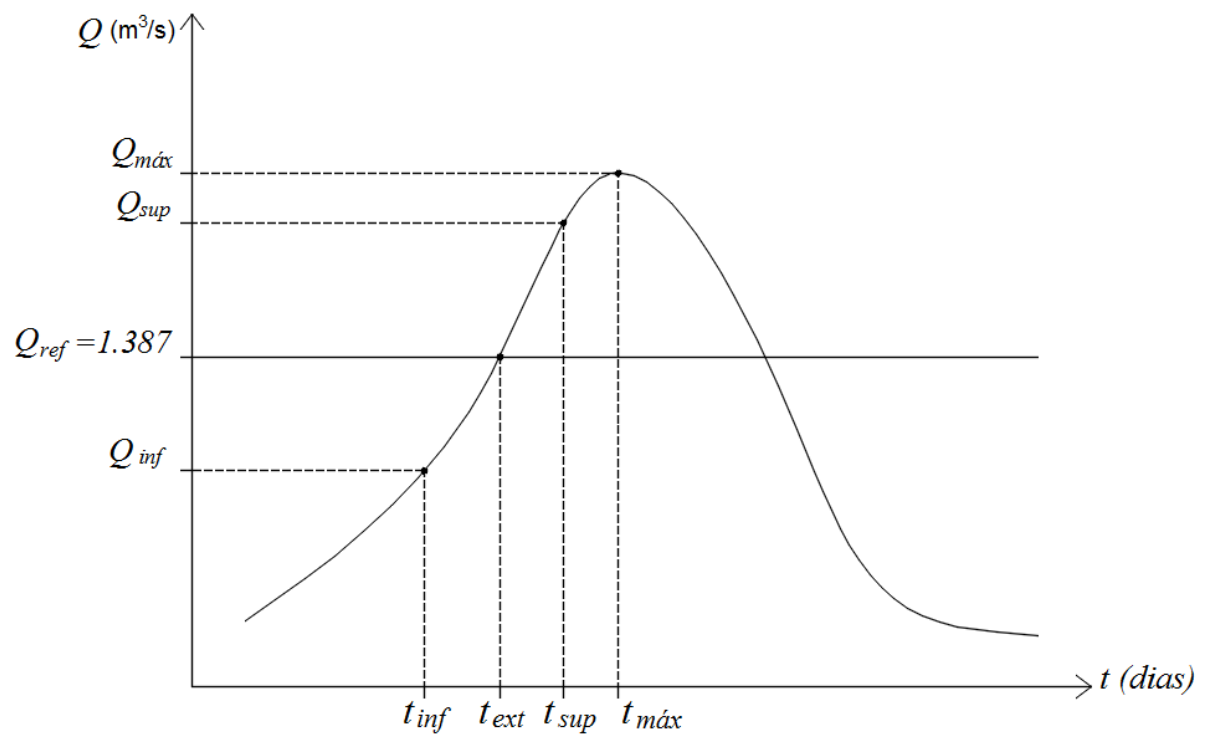


Figura 3.7. Parâmetros para o cálculo do instante de início de extravasamento

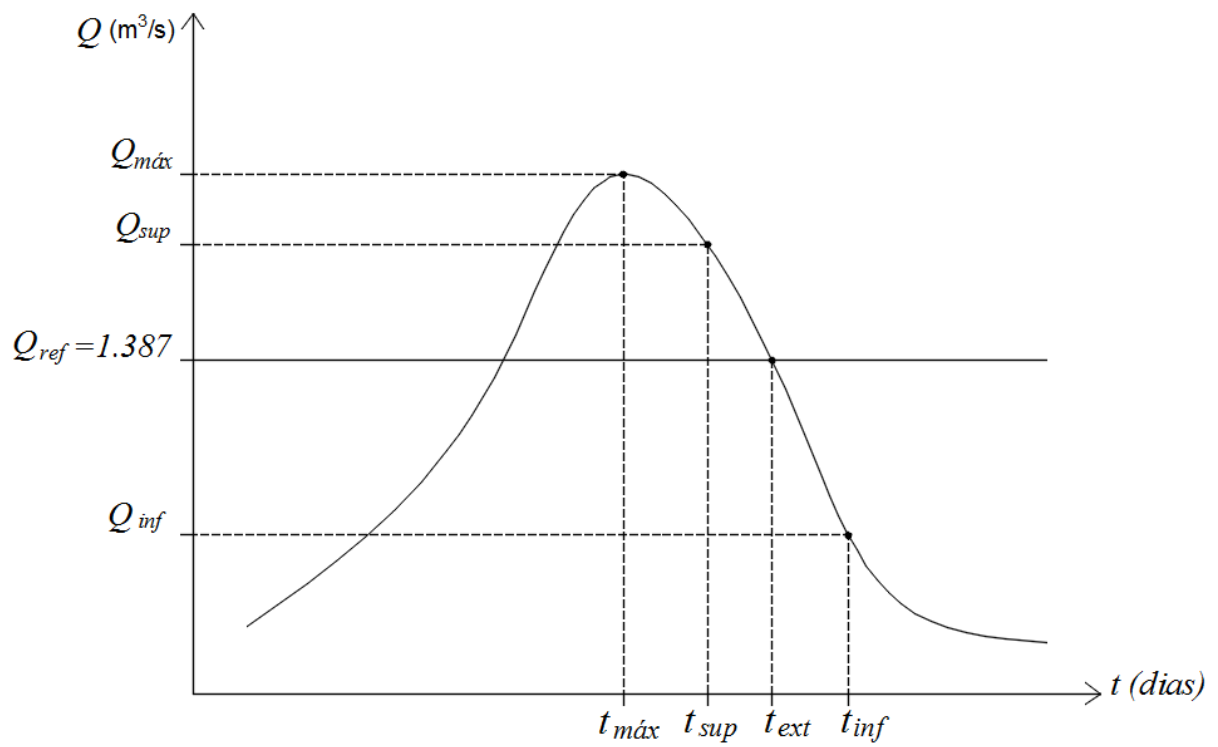


Figura 3.8. Parâmetros para o cálculo do instante de fim de extravasamento

Ainda, em alguns anos, o hidrograma de cheia escolhido continha oscilações, ou seja, durante o pico da cheia, havia períodos acima e abaixo do limiar de extravasamento, gerando vários períodos acima do limiar de extravasamento para uma cheia. Nestes casos, os vários instantes de início e fim de extravasamento foram calculados através da mesma equação (Equação (3.3)) para cada um dos períodos acima do limiar de extravasamento ocorridos e, então, armazenados para o cálculo dos indicadores de cheias.

Os códigos implementados no *software* MATLAB para o cálculo dos instantes de início e fim de extravasamento dos eventos, considerando os possíveis períodos acima do limiar de extravasamento do hidrograma de cheia, são apresentados no Apêndice A.

3.2.5 Definição e cálculo dos indicadores de cheia

Nesta seção são apresentados os indicadores de cheias utilizados para avaliar os eventos ocorridos em União da Vitória, de 1931 a 2015. Para isso, como mencionado na Seção 3.2.4, selecionou-se apenas um evento para cada ano da série histórica, sendo o maior evento de cada ano.

Os indicadores selecionados foram: vazão máxima anual (I_1) e nível de água máximo anual (I_2), volume total extravasado (I_3), tempo acima do limiar de extravasamento (I_4), tempo entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento (I_5) e taxas médias de subida (I_6) e recessão (I_7) do hidrograma de cheia, totalizando sete variáveis a serem analisadas no agrupamento de cheias.

A lógica estabelecida para a definição dos indicadores extrapola a dimensão hidrológica, uma vez que, alguns dos indicadores podem ser associados a questões econômicas e, inclusive, de resposta ao evento de cheia. Por exemplo, o indicador *tempo acima do limiar de extravasamento* (I_4) pode ser associado a questões econômicas e de saúde, enquanto o indicador *tempo entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento* (I_5) pode ser associado à possibilidade ou não de resposta preventiva da Defesa Civil e/ou da população à ocorrência do evento hidrológico.

Os indicadores de cheia “vazão máxima anual” (I_1) e “nível de água máximo anual” (I_2) já foram obtidos na caracterização hidrológica da área de estudo (Seção 3.2.3). Para os demais indicadores de cheias (*volume total extravasado* – I_3 , *tempo*

acima do limiar de extravasamento – I_4 , tempo entre início e ultrapassagem do limiar de extravasamento – I_5 , e taxas médias de ascensão – I_6 e recessão – I_7 do hidrograma de cheia), apresentam-se, no Apêndice B, os códigos implementados no software MATLAB e utilizados para os seus respectivos cálculos.

Na sequência, são apresentados de modo mais detalhado cada um dos indicadores a serem utilizados para a análise de agrupamento das cheias observadas na estação fluviométrica União da Vitória (65310000).

3.2.5.1 Vazão máxima anual (I_1)

Para cada ano da série de dados foi selecionada a vazão máxima anual, que corresponde, simplesmente, ao maior valor de vazão registrado no ano em questão.

Nos anos em que o valor da vazão máxima anual correspondia a um valor de vazão no ramo de ascensão de uma onda de cheia, cujo extravasamento e vazão de pico ocorriam no ano posterior, esta vazão máxima anual foi desconsiderada e trabalhou-se com a segunda maior onda de cheia daquele referido ano.

Por exemplo, no ano de 1970, a maior vazão registrada foi igual a 1.560 m³/s, ocorrida no dia 31 de dezembro. Esta onda de cheia se iniciou em dezembro de 1970 e terminou em janeiro de 1971, com vazão de pico igual a 2.428,5 m³/s, observada em 13 de janeiro de 1971. Neste caso específico, esta onda de cheia foi considerada relativa ao ano de 1971. Para o ano de 1970, considerou-se a onda de cheia que produziu o segundo maior pico de vazão anual, correspondente a 1.495,3 m³/s, observada em 9 de julho de 1970. Em outras palavras, o que caracterizou o ano correspondente ao evento de cheia foi sempre o dia de ocorrência dos picos das ondas de cheia.

3.2.5.2 Nível de água máximo anual (I_2)

Para cada ano da série de dados foi selecionado o nível de água máximo, que corresponde à máxima vazão anual registrada no ano em questão.

É importante ressaltar que estes dois indicadores (nível e vazão máximos) estão relacionados através da curva de descarga, portanto o mesmo critério adotado para a vazão máxima anual (I_1) foi adotado para o nível de água máximo anual (I_2),

relativo à ocorrência de ondas de cheia que se iniciam em um determinado ano e terminam no ano posterior, conforme explicado na seção anterior.

3.2.5.3 Volume total extravasado (I_3)

O volume total extravasado representa o volume de água acima da cota de extravasamento (744,50 m). Este indicador foi determinado calculando-se a área do hidrograma situada acima do limiar (744,50 m), conforme apresentado na Figura 3.9.

O cálculo da variação do tempo, necessário para a obtenção da área apresentada na Figura 3.9, foi realizado a partir dos instantes de início (t_{e0}) e fim (t_{ef}) do extravasamento calculados e armazenados, conforme apresentado na Seção 3.2.4. Nos casos em que houve a ocorrência de oscilações do pico do hidrograma de cheia, como também é apresentado na Seção 3.2.4, manteve-se o método descrito nesta seção para o cálculo do volume total extravasado: considerar sempre a área acima do limiar de cheia, somando-se as áreas dos diversos períodos acima do limiar de extravasamento, como mostrado na Figura 3.10. Na Figura 3.10, os parâmetros $t_{e0(i)}$ e $t_{ef(i)}$ correspondem aos instantes de início e fim do extravasado do i -ésimo período acima do limiar de extravasamento de um hidrograma de cheia.

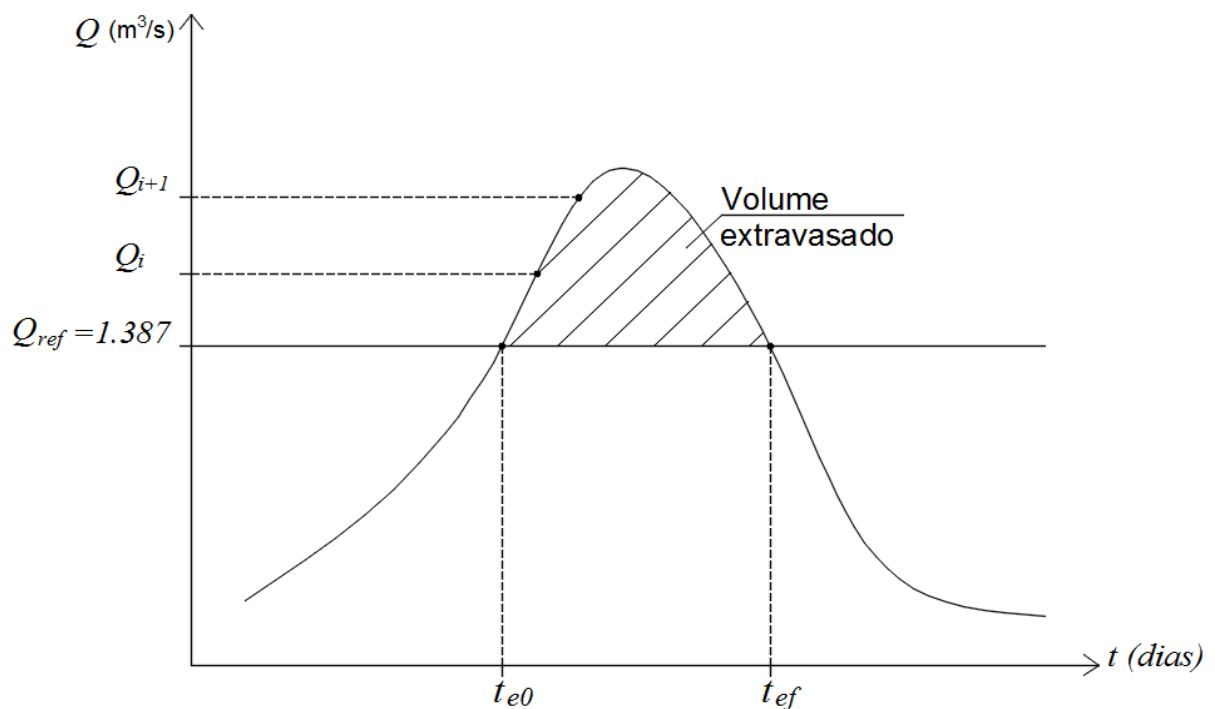


Figura 3.9. Estimativa do volume extravasado

Portanto, o cálculo do volume total extravasado (I_3) ocorre a partir das Equações (3.4) a (3.6):

$$I_3 = \sum_{i=1}^n V_i \quad (3.4)$$

onde: I_3 = volume total extravasado (m^3);

V_i = volume extravasado no i -ésimo período acima do limiar de extravasamento do hidrograma de cheia (m^3);

n = número total de períodos acima do limiar de extravasamento do hidrograma de cheia.

sendo:

$$V_i = \sum_{j=1}^m \left[\frac{(Q_j + Q_{j+1})}{2} \Delta t_{j,i} \right] \quad (3.5)$$

onde: Q_j = vazão no início do intervalo de tempo $\Delta t_{j,i}$ (m^3/s);

Q_{j+1} = vazão ao final do intervalo de tempo $\Delta t_{j,i}$ (m^3/s);

$\Delta t_{j,i}$ = intervalo de tempo no j -ésimo trecho do i -ésimo período acima do limiar de extravasamento do hidrograma de cheia (s);

m = número de intervalos de tempo no período acima do limiar de extravasamento de cheia.

e:

$$\Delta t_{j,i} = t_{j+1,i} - t_{j,i} \quad (3.6)$$

onde: $t_{j+1,i}$ = instante de tempo ao final do intervalo de tempo $\Delta t_{j,i}$;

$t_{j,i}$ = instante de tempo ao início do intervalo de tempo $\Delta t_{j,i}$.

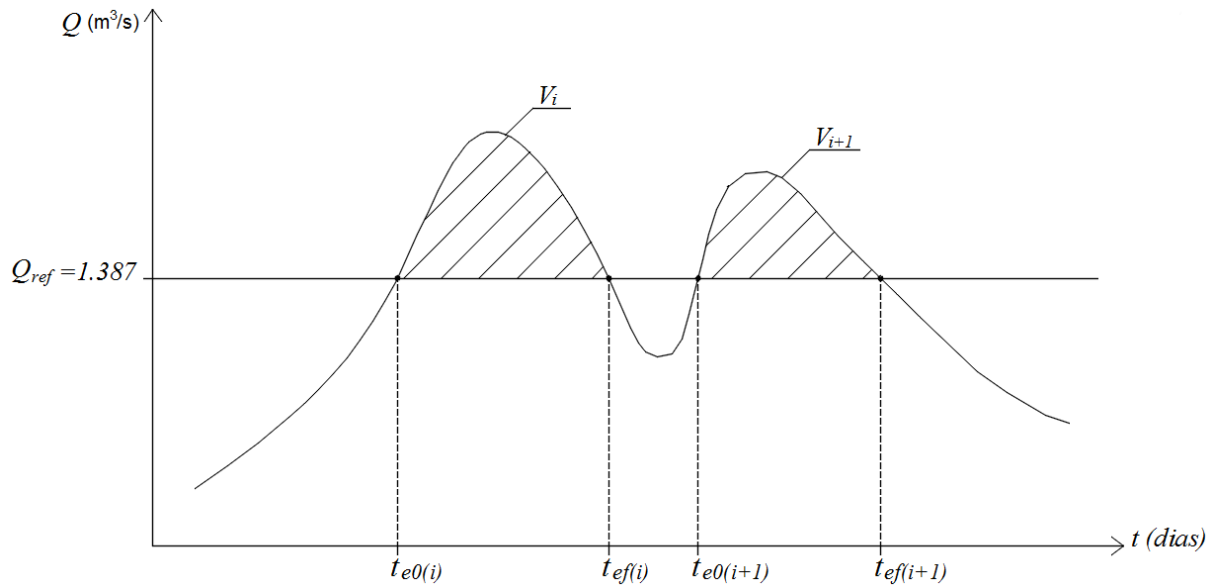


Figura 3.10. Volumes extravasados em eventos com mais de um período acima do limiar de extravasamento

3.2.5.4 Tempo acima do limiar de extravasamento (I_4)

Este indicador corresponde ao tempo total em que as vazões se mantiveram acima do limiar de extravasamento igual a 1.387 m³/s.

Assim, como no volume total de extravasamento, nos casos em que o hidrograma de cheia escolhido continha oscilações no pico de cheia, ou seja, períodos acima e abaixo do limiar de extravasamento, alternados, foram considerados apenas os períodos acima do limiar de cheia, correspondendo este indicador ao somatório destes períodos.

O tempo acima do limiar de extravasamento (I_4) é calculado pelas Equações (3.7) e (3.8).

$$I_4 = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (3.7)$$

onde: I_4 = tempo total acima do limiar de extravasamento (dias);

Δt_i = período de tempo acima do limiar de extravasamento do i -ésimo período acima do limiar de extravasamento do hidrograma de cheia (dias);

n = número total de períodos acima do limiar de extravasamento de uma cheia.

sendo:

$$\Delta t_i = t_{ef_i} - t_{e0_i} \quad (3.8)$$

onde: $t_{ef(i)}$ = instante do fim do extravasamento do i -ésimo período acima do limiar de extravasamento do hidrograma de cheia;

$t_{e0(i)}$ = instante de início do extravasamento do i -ésimo período acima do limiar de extravasamento do hidrograma de cheia;

A Figura 3.11 representa os instantes de tempo do hidrograma de cheia, bem como, explicita os parâmetros das Equações (3.7) e (3.8) para o caso de pico isolado, sem alternância de período acima e abaixo do limiar ($1.387 \text{ m}^3/\text{s}$). A variável $t_{m\acute{a}x}$ apresentada na Figura 3.11 equivale ao instante de vazão de pico do hidrograma de cheia, enquanto que as variáveis t_0 e t_f representam o início e o fim do hidrograma de cheia, respectivamente.

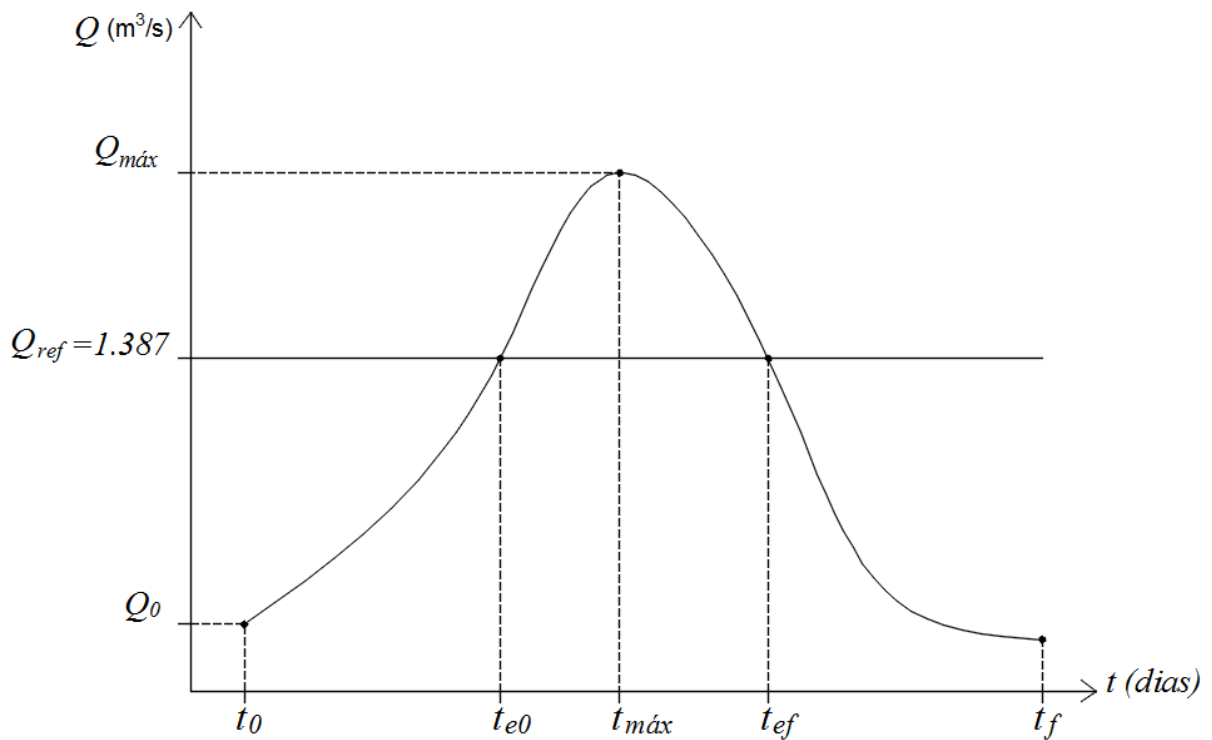


Figura 3.11. Instantes de tempo do hidrograma de cheia

3.2.5.5 Tempo entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento (I_5)

Considerando o hidrograma de cheia, o tempo entre o início e a primeira ultrapassagem do limiar de extravasamento é calculado considerando o instante de ocorrência da primeira vazão igual a $1.387 \text{ m}^3/\text{s}$ (t_{e0}) e a data inicial do hidrograma de cheia analisado (t_0).

Nos casos em que o hidrograma continha mais de um período acima do limiar de extravasamento, considerou-se apenas o trecho inicial do hidrograma, de t_0 até o primeiro ponto de extravasamento da cheia (t_{e0}), conforme representado na Figura 3.12.

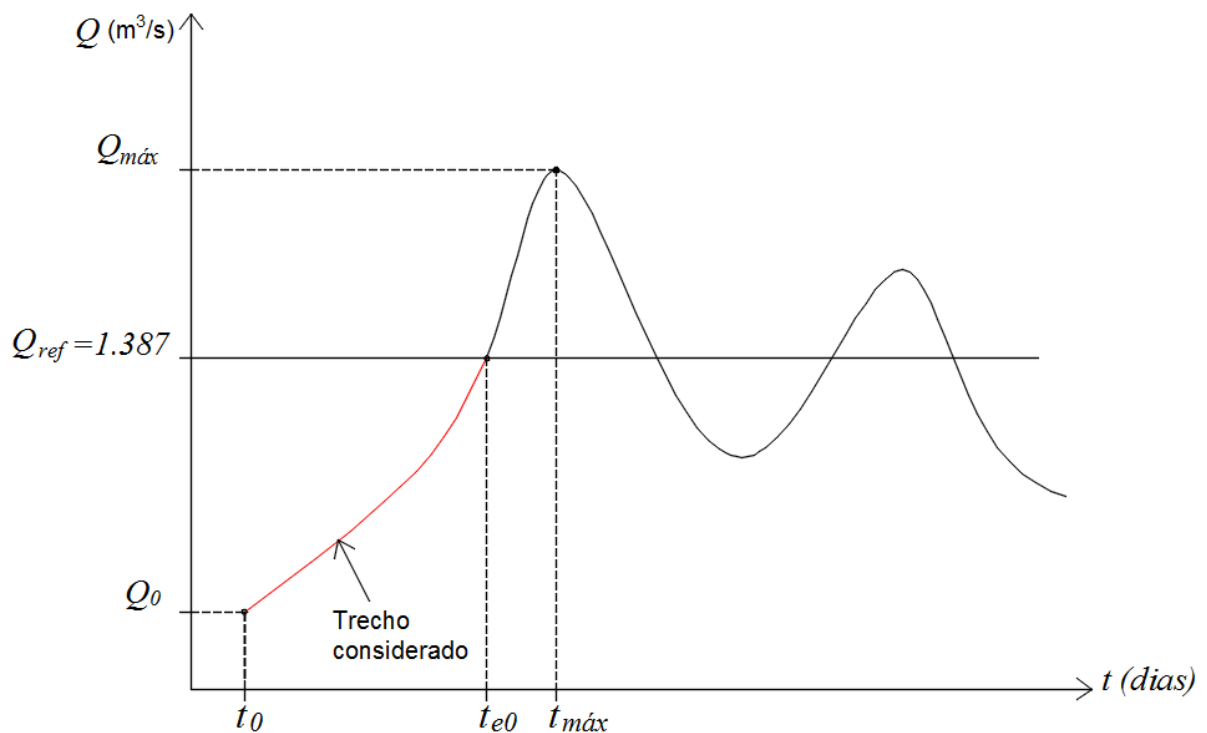


Figura 3.12. Instantes e trecho considerados no cálculo do tempo entre o início do evento e a primeira ultrapassagem do limiar de extravasamento

O tempo entre o início e a ultrapassagem do limiar de extravasamento (I_5) é calculado através da Equação (3.9).

$$I_5 = t_{e_0} - t_0 \quad (3.9)$$

onde: I_5 = tempo entre o início do evento e a primeira ultrapassagem do limiar de cheia (*dias*);

t_{e0} = instante de início do primeiro extravasamento de um hidrograma de cheia;

t_0 = instante de início do hidrograma de cheia.

3.2.5.6 Taxa média de ascensão do hidrograma de cheia (I_6)

Considerando o trecho de ascensão do hidrograma de cheia, entre o início da onda de cheia e o primeiro instante de extravasamento, é calculada a taxa média de subida (I_6) neste trecho, mesmo quando há ocorrência de diversos períodos acima do limiar de extravasamento.

A taxa média de ascensão (I_6) no trecho entre o início da onda de cheia e o primeiro instante do extravasamento é calculada através da Equação (3.10), cujos parâmetros também são representados na Figura 3.12.

$$I_6 = \frac{Q_{ref} - Q_0}{t_{e0} - t_0} \quad (3.10)$$

onde: I_6 = taxa média de ascensão do hidrograma de cheia ($m^3/s/dia$);

t_0 = instante de início do hidrograma de cheia;

t_{e0} = instante de início do primeiro extravasamento de um hidrograma de cheia;

Q_0 = vazão no instante de início do hidrograma de cheia (m^3/s);

Q_{ref} = vazão de referência igual a 1.387 m^3/s .

3.2.5.7 Taxa média de recessão do hidrograma de cheia (I_7)

Considerando o trecho de recessão do hidrograma de cheia, a partir do seu pico até o ponto em que cessa o extravasamento, é calculada a razão entre a diferença da vazão de pico e a vazão de referência e o intervalo de tempo em que ocorrem. Quando há a ocorrência de diversos períodos acima do limiar de extravasamento, os trechos que não contenham a vazão de pico são desconsiderados.

A taxa média de recessão do hidrograma de cheia (I_7) é calculada pela Equação (3.11), cujos parâmetros também são representados pela Figura 3.12.

$$I_7 = \frac{Q_{m\acute{a}x} - Q_{ref}}{t_{m\acute{a}x} - t_{ef\ pico}} \quad (3.11)$$

onde: I_7 = taxa média de recessão do hidrograma de cheia ($m^3/s/dia$);

$t_{m\acute{a}x}$ = instante de ocorrência da vazão de pico do hidrograma de cheia;

$t_{ef\ pico}$ = instante de fim do extravasamento do período acima do limiar de extravasamento que contém a vazão de pico;

$Q_{m\acute{a}x}$ = vazão de pico (m^3/s);

Q_{ref} = vazão de referência igual a 1.387 m^3/s ;

3.2.6 Análise inicial dos indicadores de cheia

Nesta seção são apresentados os métodos utilizados para realizar a análise inicial dos indicadores de cheia definidos e de pré-tratamento das informações.

3.2.6.1 Ranqueamento dos 10 maiores eventos de cheia

Definidos e calculados os sete indicadores de cheias a serem trabalhados neste trabalho (vazão – I_1 – e nível de água – I_2 – máximos, volume total extravasado – I_3 –, tempo acima do limiar de extravasamento – I_4 –, tempo entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento – I_5 – e taxas médias de subida – I_6 – e recessão – I_7 – do hidrograma de cheia), foi realizado um ranqueamento dos 10 maiores eventos de cheia, obtendo-se um ordenamento dos eventos para cada indicador de cheia calculado. O ordenamento de maiores eventos partiu do princípio de maior gravidade que as cheias representam para a população.

Os indicadores *vazão máxima anual* (I_1), *nível de água máximo anual* (I_2), *volume total extravasado* (I_3), *tempo acima do limiar de extravasamento* (I_4) e *taxa média de subida do hidrograma de cheia* (I_6) foram ordenados em sequência decrescente, uma vez que quanto maiores seus valores, mais graves as consequências para a população. Enquanto que os indicadores *tempo entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento* (I_5) e a *taxa de recessão*

do hidrograma de cheia (I_7), seguem a ordem crescente, pois quanto menores, mais sérios os seus impactos.

3.2.6.2 Análise de correlação

A análise de correlação tem como objetivo medir o grau de relacionamento entre as variáveis.

No presente trabalho, realizou-se a análise de correlação a fim de verificar a viabilidade da utilização dos indicadores de cheia selecionados: grau fraco de relação entre variáveis reforça a necessidade de suas análises; grau forte de relação possibilita que uma variável seja dispensada das análises.

A correlação das variáveis foi efetuada para cada um dos possíveis pares de indicadores pré-determinados, através da função “*correl()*” do *software Microsoft Office Excel*.

3.2.6.3 Tratamento inicial dos indicadores de cheia

Devido às suas diferenças físicas e unitárias, os indicadores de cheias necessitam de um tratamento inicial. Para isso, adotou-se o método da normalização, que basicamente consistiu em reduzir os indicadores a uma escala comum e adimensional.

O tratamento inicial dos dados, utilizando-se o método de normalização de dados, consistiu em aplicar a Equação (3.12) ao conjunto de valores relativos a cada um dos indicadores de cheia definidos para o presente trabalho.

$$x_{ij} = \frac{x_{ij}^0 - x_{j\text{mín}}^0}{x_{j\text{máx}}^0 - x_{j\text{mín}}^0} \quad (3.12)$$

onde: x_{ij} = valor tratado da i -ésima observação do j -ésimo indicador;

x_{ij}^0 = valor não tratado da i -ésima observação do j -ésimo indicador;

$x_{j\text{máx}}^0$ = máximo valor não tratado do j -ésimo indicador;

$x_{j\text{mín}}^0$ = mínimo valor não tratado do j -ésimo indicador.

Após a normalização, a matriz de indicadores de cheia não tratados (matriz original) $\mathbf{X}^{(0)}$, com elementos x_{ij}^0 , é transformada na matriz \mathbf{X} , com elementos $x_{ij} \in [0,1]$.

3.2.7 Desenvolvimento e avaliação inicial do programa computacional para agrupamento de cheias

O método de agrupamento de cheias utilizado no presente estudo foi implementado no *software* MATLAB e seus códigos são apresentados no Apêndice C.

Para a avaliação do programa computacional desenvolvido para realizar o agrupamento de cheias, foram adotados dois exemplos genéricos: o primeiro, utilizando dois indicadores, que representa um problema de duas dimensões, e o segundo, com três indicadores, totalizando três dimensões.

O primeiro exemplo utilizado é encontrado em Bezdek *et al.* (1983), obtendo-se um agrupamento de uma série de dados com 16 pontos e 2 indicadores, enquanto que o segundo exemplo é caracterizado por uma série de dados estimada pelo autor deste trabalho, contendo 30 pontos, com três unidades de medida cada, ou seja, três indicadores.

Para ambos os exemplos, além da simulação realizada a partir da implementação do método *fuzzy c-means* pelo autor deste trabalho no *software* MATLAB, também aplicou-se uma função pré-existente no respectivo *software*, chamada “*fcm*”, a qual possibilitou a comparação com os resultados obtidos através da implementação do método.

3.2.8 Agrupamento das cheias máximas anuais

Para a análise dos dados normalizados obtidos a partir da estação fluviométrica de União da Vitória (65310000), foi usado o algoritmo *fuzzy c-means*, descrito a seguir. Deste ponto em diante desta dissertação, os termos “indicador” e “variável” são usados indistintamente como sinônimos.

No presente trabalho, adotou-se como medida de distância entre os valores da amostra a distância Euclidiana, calculada pela Equação (3.13), apresentada em Wang *et al.* (2014):

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^J (x_{ij} - v_{kj})^2} \quad (3.13)$$

onde: d_{ik} = elemento da matriz de distâncias Euclidianas ou distância Euclidiana da i -ésima observação ao k -ésimo grupo;
 x_{ij} = valor tratado da i -ésima observação do j -ésimo indicador;
 v_{kj} = elemento do k -ésimo centróide no j -ésimo indicador;
 J = número total de características descritivas do objeto de estudo, ou número total de indicadores.

Conforme apresentado na Subseção 2.4.2.3, o algoritmo *fuzzy c-means* estabelece as semelhanças que um dado da amostra compartilha com cada grupo. No presente trabalho estas associações são definidas, de acordo com Hall e Minns (1999), como os *graus de aderência* que determinado valor da amostra (i) tem com cada grupo (k). Este grau de aderência é calculado pela Equação (3.14), também apresentado em Wang *et al.* (2014):

$$u_{ki} = \left[\sum_{j=1}^K \left(\frac{d_{ik}}{d_{jk}} \right)^{\frac{2}{r-1}} \right]^{-1} \quad (3.14)$$

onde: u_{ki} = elemento da matriz de partição difusa \mathbf{U} ou grau de aderência da i -ésima observação do k -ésimo grupo;
 d_{ik} = elemento da matriz de distâncias Euclidianas ou distância Euclidiana da i -ésima observação ao k -ésimo grupo;
 d_{jk} = elemento da matriz de distâncias Euclidianas ou distância Euclidiana da j -ésima observação ao k -ésimo grupo;
 K = número total de grupos;
 r = parâmetro de incerteza ou grau de imprecisão.

sendo:

$$\sum_{k=1}^K u_{ki} = 1, \text{ para todo } i; \quad (3.15)$$

onde: $i = i$ -ésima observação da amostra ($i = 1, 2, \dots, I$);

$I =$ número total de observações da amostra.

Para Hall e Minns (1999), os valores dos graus de aderência (u_{ki}) podem ser representados na forma de matriz de partição difusa (*fuzzy partition matrix*) \mathbf{U} , com K linhas e I colunas. Os autores ainda enfatizam que, uma vez que o número de graus de aderência (u_{ki}) que cada dado da amostra pode assumir em um grupo é infinito, utiliza-se uma função objetivo para agrupar os dados, ou seja, determinar os valores da matriz \mathbf{U} . Esta função objetivo (F_{ob}) atua como um critério de classificação e é dada pela Equação (3.16) (WANG *et al.*, 2014):

$$F_{ob} = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I (u_{ki})^r (d_{ik})^2 \quad (3.16)$$

onde: $F_{ob} =$ função objetivo;

$r =$ parâmetro de incerteza;

$d_{ik} =$ elemento da matriz de distâncias Euclidianas ou distância Euclidiana da i -ésima observação ao k -ésimo grupo;

$u_{ki} =$ elemento da matriz de partição difusa \mathbf{U} ou grau de aderência da i -ésima observação do k -ésimo grupo;

$K =$ número total de grupos;

$I =$ número total de observações.

Na Equação (3.16), r é o parâmetro que controla o grau de incerteza neste processo de classificação. Para que o agrupamento seja considerado difuso, o valor de r deve ser maior que 1, caso contrário, o agrupamento será considerado determinístico. Ross (1995) define que o intervalo adequado para r é $1,25 \leq r \leq 2,00$. O número de grupos, por sua vez, é determinado pelo usuário e, de acordo com Bezdek *et al.* (1983), pode variar de 2 até o número total de variáveis.

O cálculo das coordenadas do centro do grupo (centróide) para uma determinada característica j descritiva do local do grupo k é realizado pela Equação (3.17) (WANG *et al.*, 2014):

$$v_{kj} = \frac{\sum_{k=1}^K (u_{ki})^r x_{ij}}{\sum_{k=1}^K (u_{ki})^r} \quad (3.17)$$

onde: v_{kj} = elemento da matriz de centróides ou elemento do k -ésimo centróide e j -ésimo indicador;

x_{ij} = valor tratado da i -ésima observação do j -ésimo indicador;

u_{ki} = elemento da matriz de partição difusa \mathbf{U} ou elemento da i -ésima observação do k -ésimo grupo;

K = número total de grupos.

O resultado do agrupamento, portanto, pode ser obtido através de um método iterativo, que segue esta ordem (BEZDEK *et al.*, 1983):

- Adota-se um número de grupos k e o grau de precisão r .
Os passos, então, serão denotados por $(p) = 0, 1, 2, \dots$
- Determina-se, aleatoriamente, a matriz de partição difusa inicial ($\mathbf{U}^{(0)}$);
- Calcula-se $v_{ij}^{(p)}$ (Equação (3.17));
- Calcula-se $d_{ij}^{(p)}$ (Equação (3.13));
- Calcula-se o valor de F_{ob} (Equação (3.16));
- Atualiza-se a matriz de partição difusa ($\mathbf{U}^{(p)}$) através da Equação (3.18), que é equivalente a Equação (3.14):

$$u_{ki}^{(p+1)} = \left[\sum_{j=1}^J \left(\frac{d_{ik}^{(p)}}{d_{jk}^{(p)}} \right)^{\frac{2}{r-1}} \right]^{-1} \quad (3.18)$$

onde: $u_{ki}^{(p+1)}$ = grau de aderência da i -ésima observação do k -ésimo grupo da matriz de partição difusa $\mathbf{U}^{(p+1)}$;

J = número de indicadores de cheia;

r = parâmetro de incerteza;

$d_{ik}^{(p)}$ = distância Euclidiana da i -ésima observação ao k -ésimo grupo, obtido a partir da matriz de partição difusa $\mathbf{U}^{(p)}$;

$d_{jk}^{(p)}$ = distância Euclidiana da j -ésima observação ao k -ésimo grupo, obtido a partir da matriz de partição difusa $\mathbf{U}^{(p)}$.

- g) Se $\mathbf{U}^{(p+1)}$ não diferir de $\mathbf{U}^{(p)}$ mais que um limite estabelecido, termina-se o algoritmo; caso contrário, repetem-se os passos de c a f , incrementando o valor de p .

O item “g” do algoritmo acima apresentado, afirma que existe um critério de parada, que avalia a diferença entre a matriz de partição obtida ao fim de cada passo ($\mathbf{U}^{(p+1)}$) e a matriz de partição anterior ($\mathbf{U}^{(p)}$). No presente trabalho, o limite estabelecido como parada do algoritmo é dado pela Equação (3.19) (WANG *et al.*, 2014):

$$\max_{ki} \left\{ \left| u^{(p+1)}_{ki} - u^{(p)}_{ki} \right| \right\} < \varepsilon \quad (3.19)$$

onde: ε = erro máximo tolerado, igual a 10^{-5} ;

$u^{(p+1)}_{ki}$ = grau de aderência da i -ésima observação do k -ésimo grupo, da matriz de partição difusa $\mathbf{U}^{(p+1)}$;

$u^{(p)}_{ki}$ = grau de aderência da i -ésima observação do k -ésimo grupo, da matriz de partição difusa $\mathbf{U}^{(p)}$.

Para a aplicação do método acima citado e análise das características das cheias em União da Vitória, faz-se necessário, portanto, determinar um número de grupos adequado para a resolução do problema, bem como, o parâmetro de incerteza que define a lógica difusa, como indica o item “a” do algoritmo apresentado. Porém, como o número de grupos não é conhecido, foram adotados os métodos apresentados na subseção a seguir, para determinação dos valores ideais destes parâmetros.

3.2.8.1 Determinação do número de grupos (k) e do parâmetro de incerteza (r)

Bezdek *et al.* (1983), a fim de determinar do número de grupos (k) e o parâmetro de incerteza (r), basearam-se na matriz de partição difusa, aplicando as Equações (3.20) e (3.21):

$$F_c = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K (u_{ki})^2 / I \quad (3.20)$$

$$H_c = - \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K (u_{ki} \cdot \log_a(u_{ki}))^2 / I \quad (3.21)$$

onde: F_c = média dos quadrados dos elementos da matriz **U**;

H_c = média dos quadrados dos elementos da matriz **U** multiplicados pelos seus respectivos logaritmos na base a ;

a = base do logaritmo, igual a 10;

K = número de grupos;

I = número de observações da amostra.

Bezdek *et al.* (1983) ainda calculam o valor de $(1 - F_c)$ e determinam que, quando o valor de F_c é igual, ou próximo, a 1, o valor de H_c tende a zero, como mostra a Equação (3.22), e nos demais casos, os parâmetros seguem as especificações apresentadas nas Equações (3.23) e (3.24):

$$F_c = 1 \Leftrightarrow H_c = 0 \quad (3.22)$$

$$F_c = \frac{1}{K} \Leftrightarrow H_c = \log_a(K) \Leftrightarrow U = \left[\frac{1}{K} \right] \quad (3.23)$$

$$\frac{1}{K} \leq F_c \leq 1; \quad 0 \leq H_c \leq \log_a(K) \quad (3.24)$$

Estes parâmetros (F_c , $1 - F_c$, H_c) determinam, portanto, os valores ideais do parâmetro de incerteza (r) e do número de grupos (K) a partir da identificação do maior valor de F_c e dos menores valores de $(1 - F_c)$ e H_c .

Assim, considerando a recomendação de Ross (1995), que define o intervalo adequado para r igual a $[1,25; 2,00]$, nesta dissertação adotou-se o mesmo intervalo para o parâmetro r , incrementado em 0,25 a cada alteração do parâmetro. Ainda, sendo o número de grupos (K) limitado no número total de variáveis analisadas, de acordo com Bezdek *et al.* (1983), neste trabalho foram utilizados número de grupos

pertencentes ao intervalo $[3; 7]$, incrementados de 1 em 1. Portanto, as simulações realizadas foram: para cada valor de r , realizou-se uma simulação para cada valor de K ; e para cada simulação foram calculados os valores dos parâmetros F_c , $1 - F_c$, H_c , encontrando-se o maior valor de F_c e os menores valores de $(1 - F_c)$ e H_c , e consequentemente, os valores ideais dos parâmetros r e K .

Por fim, vale ressaltar que o método *fuzzy c-means* visa a minimização da função objetivo, como citado anteriormente, porém, esta comparação é feita entre as iterações de uma mesma simulação, ou seja, para a simulação de um único valor de r e um único valor de K , não sendo válida a comparação entre os resultados da função objetivo entre diferentes simulações, ou diferentes valores de r e K .

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho.

4.1 CORREÇÃO DAS VAZÕES EM UNIÃO DA VITÓRIA

Inicialmente, para a execução do programa computacional, fornecido pela COPEL e gerador de vazões em União da Vitória, a partir dos dados em Porto Vitória, foram preenchidas as falhas apresentadas na série de dados de Porto Vitória.

Conhecendo os níveis de água na estação fluviométrica União da Vitória (65310000) e assumindo-se a permanência dos níveis na referida estação igual ao tempo de permanência dos níveis na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800), foi possível preencher as falhas de níveis de água na segunda estação. A Tabela 4.1 apresenta os resultados de níveis de água na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800), obtidos a partir do preenchimento de falhas, e a partir da desta tabela, percebe-se que o preenchimento de falhas ocorreu para um período contínuo de 23 dias.

Tabela 4.1. Preenchimento de falhas de níveis de água na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800)

Data	Nível de água em UV (m)	Permanência em UV e PV (%)	Nível de água em PV (m)
24/07/1982	5,30	4,80	2,77
25/07/1982	5,20	5,43	2,73
26/07/1982	5,08	6,27	2,68
27/07/1982	4,93	7,46	2,62
28/07/1982	4,75	8,66	2,58
29/07/1982	4,55	10,40	2,51
30/07/1982	4,34	12,46	2,43
31/07/1982	4,14	15,35	2,33
01/08/1982	3,93	18,06	2,26
02/08/1982	3,75	20,86	2,17
03/08/1982	3,63	22,79	2,11

Tabela 4.1. Preenchimento de falhas de níveis de água na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800) (continuação)

Data	Nível de água em UV (m)	Permanência em UV e PV (%)	Nível de água em PV (m)
04/08/1982	3,36	27,84	1,96
05/08/1982	3,09	33,40	1,80
06/08/1982	2,95	36,95	1,73
07/08/1982	2,89	38,73	1,69
08/08/1982	2,83	40,53	1,65
09/08/1982	2,82	40,77	1,65
10/08/1982	2,78	41,81	1,63
11/08/1982	2,72	43,52	1,60
12/08/1982	2,66	45,30	1,57
13/08/1982	2,60	47,24	1,53
14/08/1982	2,56	48,54	1,51
15/08/1982	2,54	49,24	1,50

Com o preenchimento das falhas dos níveis de água na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800), completou-se a sua série de níveis de água e, juntamente com os níveis de água da estação fluviométrica União da Vitória (65310000), foi possível calcular, a partir do programa computacional fornecido pela COPEL, as vazões da estação fluviométrica União da Vitória (65310000) para o período de 1980 a 2015.

4.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO

Para a área em estudo no presente trabalho, foram obtidos os dados apresentados a seguir:

1. Níveis de água observados na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), no período de 1931 a 2015, obtidos a partir do Instituto de Águas do Paraná;
2. Níveis de água observados na estação fluviométrica R5 Porto Vitória (65365800), no período de 1980 a 2015, obtidos a partir do Instituto de Águas do Paraná e utilizados para correção das vazões em União da Vitória neste período;

3. Vazões observadas na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), no período de 1931 a 1979, obtidas a partir do Instituto de Águas do Paraná;
4. Vazões corrigidas para a estação fluviométrica União da Vitória (65310000) no período de 1980 a 2015, calculadas através do programa computacional fornecido pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL), a partir dos dados de níveis de água das estações fluviométricas União da Vitória (65310000) e R5 Porto Vitória (65365800).

A partir desta série de dados gerada, foi realizada a análise preliminar das séries de vazões e níveis de água obtidas para a estação fluviométrica União da Vitória (65310000), e, a fim de se compreender melhor os fenômenos ocorridos em União da Vitória, na análise preliminar dos dados foram calculadas as vazões mínima, média e máxima anuais. A Tabela 4.2 apresenta os valores obtidos para as vazões anuais e a Figura 4.1 representa a variação dessas vazões de 1931 a 2015.

Tabela 4.2. Vazões mínimas, máximas e médias anuais da estação fluviométrica União da Vitória (65310000)

Ano	Mínima	Média	Máxima	Ano	Mínima	Média	Máxima
1931	119,6	525,8	1453,0	1974	106,3	374,1	1022,0
1932	168,1	514,7	1833,2	1975	96,0	485,3	1711,0
1933	70,3	186,9	836,3	1976	192,7	619,5	1419,4
1934	79,3	259,5	820,0	1977	111,4	432,9	1048,0
1935	70,3	537,2	3266,8	1978	61,9	253,7	816,0
1936	103,7	461,0	1242,0	1979	72,6	497,4	1565,0
1937	96,0	414,9	1399,0	1980	148,1	590,9	1864,7
1938	142,0	550,7	2383,0	1981	81,9	357,8	1887,1
1939	114,0	444,6	1716,5	1982	87,7	644,2	2263,0
1940	98,6	236,5	568,0	1983	265,0	1171,8	5156,7
1941	136,4	420,2	1268,0	1984	129,0	543,2	1939,5
1942	116,8	420,8	1198,0	1985	48,6	219,8	768,5
1943	68,1	324,6	901,9	1986	55,9	315,4	1256,9
1944	52,3	237,9	956,4	1987	122,7	522,9	2167,4
1945	70,3	233,7	1218,0	1988	68,5	384,5	1758,9
1946	114,0	641,3	2333,6	1989	113,1	579,2	1887,1
1947	103,7	535,8	1777,0	1990	212,4	896,1	2196,0
1948	96,0	425,9	1443,4	1991	84,6	326,7	1155,3

Tabela 4.2. Vazões mínimas, máximas e médias anuais da estação fluviométrica União da Vitória (65310000) (continuação)

Ano	Mínima	Média	Máxima	Ano	Mínima	Média	Máxima
1949	77,1	233,9	804,0	1992	116,3	687,2	3953,6
1950	86,1	356,0	1610,0	1993	113,1	611,1	2786,2
1951	52,3	371,0	1194,0	1994	110,0	474,8	1359,8
1952	56,2	295,2	1093,0	1995	87,7	564,6	2453,3
1953	72,6	306,7	1550,0	1996	135,4	766,1	1554,5
1954	114,0	549,4	2402,5	1997	97,3	812,9	2395,4
1955	98,6	504,5	1985,0	1998	231,2	1098,7	2751,7
1956	81,6	356,7	1234,0	1999	138,6	508,3	1832,9
1957	108,9	839,6	2674,7	2000	81,9	470,9	2284,0
1958	119,6	347,4	1030,0	2001	225,3	673,5	1975,6
1959	86,1	246,5	804,0	2002	125,9	457,2	1162,3
1960	61,9	393,4	1093,0	2003	84,6	337,0	1223,9
1961	101,2	503,8	1782,5	2004	110,0	435,5	1500,7
1962	88,3	304,0	1002,0	2005	110,0	566,2	1896,7
1963	52,3	367,4	1048,0	2006	46,2	197,8	580,7
1964	90,9	353,3	914,4	2007	97,3	472,7	1864,0
1965	106,3	555,5	1471,8	2008	138,6	505,1	1470,6
1966	116,8	509,7	1399,0	2009	63,4	567,4	2050,2
1967	108,9	383,5	1210,0	2010	119,5	771,3	2605,6
1968	63,9	183,7	745,0	2011	144,9	817,7	2388,3
1969	144,9	515,3	1286,0	2012	116,3	447,2	1813,6
1970	106,3	449,0	1560,0	2013	157,6	608,0	2391,6
1971	98,6	661,9	2428,5	2014	159,3	640,1	3385,5
1972	108,9	612,7	1833,2	2015	191,8	767,6	1901,0
1973	192,7	638,5	1760,5				

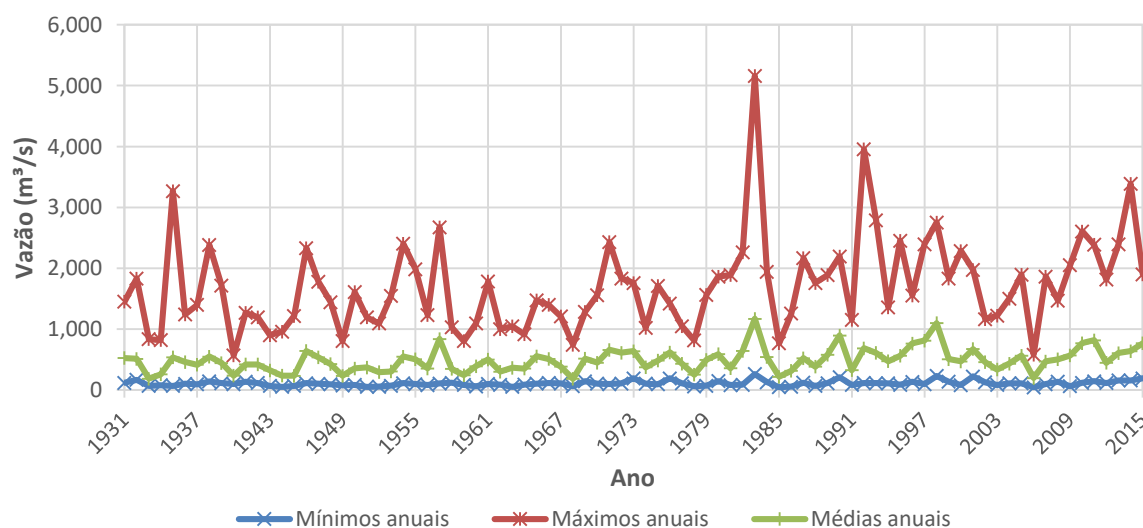


Figura 4.1. Variação de vazões anuais da estação fluviométrica União da Vitória (6531000)

A partir da Tabela 4.2 e da Figura 4.1, podem ser analisadas as amplitudes das vazões mínimas, médias e máximas anuais. No caso das vazões mínimas anuais, os valores variam de 46,2 m³/s a 265 m³/s, resultando em uma amplitude de 218,8 m³/s, enquanto que, para as vazões médias anuais, a variação foi de 183,7 m³/s para 1171,8 m³/s, gerando uma amplitude de 988,1 m³/s, considerada alta e que pode ser explicada pelo efeito que os eventos extremos máximos exercem sobre a média. A amplitude das vazões máximas anuais, por sua vez, é igual a 4.588,7 m³/s, resultante da variação de 568 m³/s a 5.156,7 m³/s, nos eventos de cheia dos anos de 1940 e 1983, respectivamente.

Estas análises, sob o ponto de vista do risco para a sociedade, são pouco significativas, por isso é necessário estabelecer um limiar de referência, conforme explicitado na Seção 3.2.1.4, dado pela cota 744,50 m, que corresponde ao nível de água de 4,89 m, ou vazão de 1.387 m³/s, obtida pela família de curvas de descarga da estação fluviométrica União da Vitória (65310000).

A Figura 4.2 apresenta as vazões máximas anuais observadas na estação fluviométrica União da Vitória (65310000) e o valor de referência para o extravasamento, dado pela linha horizontal. Na referida figura, também é possível perceber que o extravasamento do rio Iguaçu, em União da Vitória, ocorreu em 53 dos 85 anos analisados.

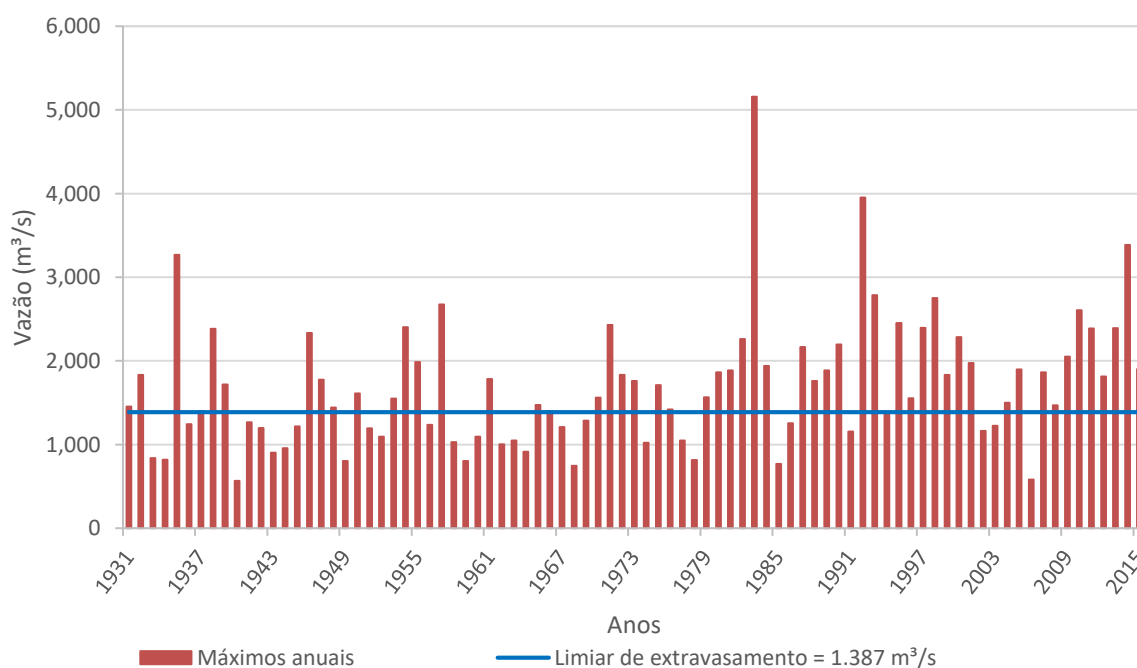


Figura 4.2. Vazões máximas da estação fluviométrica União da Vitória (65310000) e limiar de extravasamento

Para os dados referentes a níveis de água, foram selecionados os seus valores máximos anuais, apresentados na Tabela 4.3 e representados graficamente na Figura 4.3, onde a linha horizontal representa o valor de referência que indica o extravasamento do rio Iguaçu em União da Vitória. Na referida figura também é possível perceber que houve a superação do limiar de extravasamento na maioria dos anos analisados.

Tabela 4.3. Níveis de água máximos anuais na estação fluviométrica União Vitória (65310000)

Ano	Máximo anual (cm)	Ano	Máximo anual (cm)	Ano	Máximo anual (cm)	Ano	Máximo anual (cm)
1931	510	1953	530	1975	562	1997	666
1932	584	1954	685	1976	503	1998	720
1933	373	1955	612	1977	424	1999	570
1934	369	1956	466	1978	368	2000	650
1935	816	1957	728	1979	533	2001	596
1936	468	1958	420	1980	575	2002	440
1937	499	1959	365	1981	579	2003	456
1938	682	1960	434	1982	645	2004	512
1939	563	1961	575	1983	1042	2005	582
1940	302	1962	413	1984	594	2006	303
1941	474	1963	424	1985	347	2007	579
1942	457	1964	392	1986	459	2008	505
1943	389	1965	514	1987	628	2009	609
1944	402	1966	499	1988	556	2010	702
1945	462	1967	460	1989	579	2011	668
1946	673	1968	350	1990	633	2012	568
1947	574	1969	478	1991	437	2013	667
1948	508	1970	532	1992	890	2014	813
1949	365	1971	689	1993	727	2015	584
1950	542	1972	584	1994	480		
1951	456	1973	571	1995	676		
1952	434	1974	418	1996	519		

Considerando o limiar de extravasamento em União da Vitória apresentado (vazão de 1.387 m³/s e nível de água igual a 4,89 m) e tendo como base as Tabelas 4.2 e 4.3, percebe-se que dentre os 85 anos de níveis de água e vazões observadas na região, em 53 desses anos houve a superação do valor de referência, resultando em 62,4 % dos anos observados.

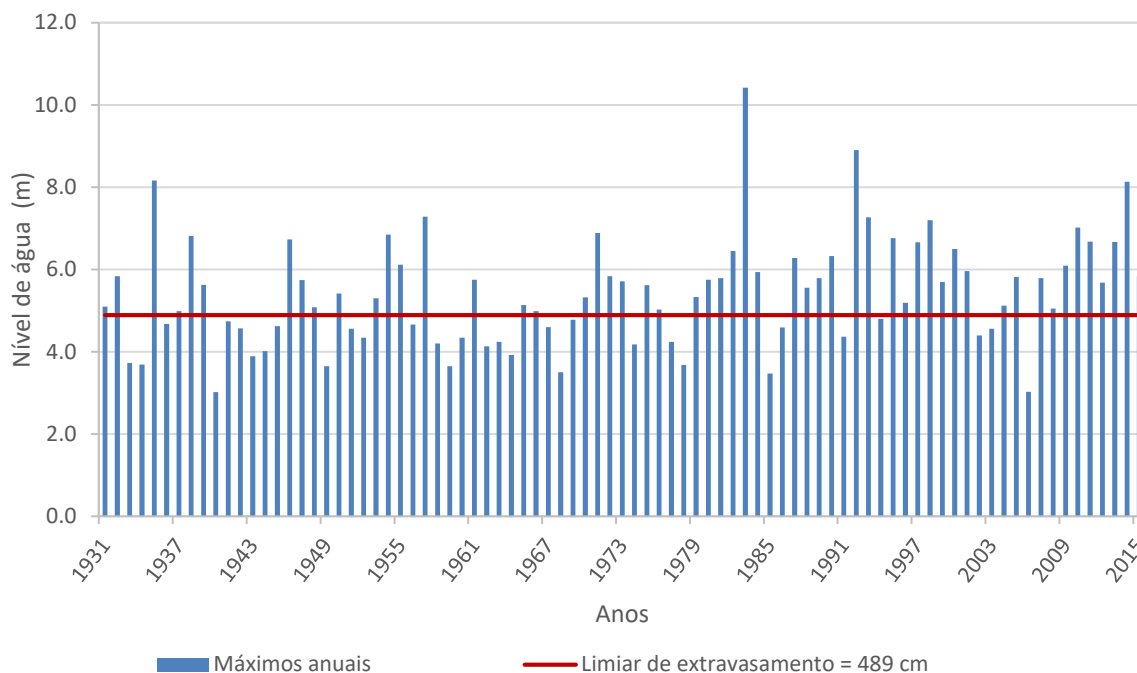


Figura 4.3. Níveis de água máximos anuais na estação fluviométrica União da Vitória (65310000) e limiar de extravasamento

Os eventos com ocorrência de extravasamento, em número de 53, foram então ordenados de modo decrescente (da maior vazão para a menor) e apresentados na Tabela 4.4. A partir desta tabela, pode-se perceber que o maior evento ocorrido em União da Vitória foi no ano de 1983, atingindo aproximadamente 5.157 m³/s de vazão, seguido dos eventos de 1992 e de 2014, nesta ordem.

Tabela 4.4. Ranqueamento de maiores cheias observadas na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), no período de 1931 a 2015

Posição	Ano	Q (m ³ /s)	Posição	Ano	Q (m ³ /s)
1º	1983	5156,7	28º	1989	1887,1
2º	1992	3953,6	29º	2007	1864,0
3º	2014	3385,5	30º	1932	1833,2
4º	1935	3266,8	31º	1972	1833,2
5º	1993	2786,2	32º	1999	1832,9
6º	1998	2751,7	33º	2012	1813,6
7º	1957	2674,7	34º	1961	1782,5
8º	2010	2605,6	35º	1947	1777,0
9º	1995	2453,3	36º	1973	1760,5
10º	1971	2428,5	37º	1988	1758,9
11º	1954	2402,5	38º	1939	1716,5
12º	1997	2395,4	39º	1980	1715,0
13º	2013	2391,6	40º	1975	1711,0

Tabela 4.4. Ranqueamento de maiores cheias observadas na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), no período de 1931 a 2015 (continuação)

Posição	Ano	Q (m³/s)	Posição	Ano	Q (m³/s)
14º	2011	2388,3	41º	1950	1610,0
15º	1938	2383,0	42º	1979	1565,0
16º	1946	2333,6	43º	1996	1554,5
17º	2000	2284,0	44º	1953	1550,0
18º	1982	2263,0	45º	2004	1500,7
19º	1990	2196,0	46º	1970	1495,3
20º	1987	2167,4	47º	1965	1471,8
21º	2009	2050,2	48º	2008	1470,6
22º	1955	1985,0	49º	1931	1453,0
23º	2001	1975,6	50º	1948	1443,4
24º	1984	1939,5	51º	1976	1419,4
25º	2015	1901,0	52º	1937	1399,0
26º	2005	1896,7	53º	1966	1399,0
27º	1981	1887,1			

4.3 SELEÇÃO DE CHEIAS MÁXIMAS ANUAIS

A Tabela 4.5 apresenta as respectivas datas de pico dos eventos selecionados, bem como, suas vazões e níveis de água máximos anuais, exceto para os anos que tiveram seus máximos ocorridos ao final do ano, mas cujo pico se deu no início do ano seguinte. Este fato ocorreu nos anos de 1970/1971 e 1980/1981 apenas.

A Figura 4.4 apresenta o hidrograma de 1970 e, através dela, é possível verificar que sua vazão máxima ocorreu em 31 de dezembro deste ano. Porém, observando a transição entre os anos de 1970 e 1971 (Figura 4.5), percebe-se que o evento que se iniciou ao fim de 1970 atingiu seu máximo em janeiro de 1971. Por isso, este evento foi considerado para o ano de 1971 e, para 1970, considerou-se o evento ocorrido entre junho e agosto de 1970 como o maior evento do ano, que é onde se encontra o segundo maior evento de cheia deste ano.

Tabela 4.5. Data dos picos dos eventos selecionados

Ano	Data pico	Q (m³/s)	H (cm)	Ano	Data pico	Q (m³/s)	H (cm)
1931	13/06/31	1453,0	510	1974	28/01/74	1022,0	418
1932	22/04/32	1833,2	584	1975	15/12/75	1711,0	562
1933	10/10/33	836,3	373	1976	15/06/76	1419,4	503
1934	02/03/34	820,0	369	1977	19/10/77	1048,0	424
1935	17/10/35	3266,8	816	1978	25/07/78	816,0	368
1936	09/06/36	1242,0	468	1979	16/05/79	1565,0	533
1937	19/11/37	1399,0	499	1980 ¹²	06/09/80	1715,0	548
1938	03/07/38	2383,0	682	1981	01/01/81	1887,1	579
1939	06/09/39	1716,5	563	1982	27/11/82	2263,0	645
1940	06/05/40	568,0	302	1983	18/07/83	5156,7	1042
1941	10/02/41	1268,0	474	1984	09/08/84	1939,5	594
1942	20/02/42	1198,0	457	1985	21/04/85	768,5	347
1943	05/08/43	901,9	389	1986	29/12/86	1256,9	459
1944	19/03/44	956,4	402	1987	29/05/87	2167,4	628
1945	20/07/45	1218,0	462	1988	25/05/88	1758,9	556
1946	04/03/46	2333,6	673	1989	25/09/89	1887,1	579
1947	05/10/47	1777,0	574	1990	27/01/90	2196,0	633
1948	18/08/48	1443,4	508	1991	24/06/91	1155,3	437
1949	17/06/49	804,0	365	1992	08/06/92	3953,6	890
1950	21/10/50	1610,0	542	1993	06/10/93	2786,2	725
1951	26/10/51	1194,0	456	1994	08/07/94	1359,8	480
1952	20/10/52	1093,0	434	1995	23/01/95	2453,3	675
1953	03/11/53	1550,0	530	1996	12/07/96	1554,5	519
1954	27/05/54	2402,5	685	1997	14/10/97	2395,4	666
1955	28/06/55	1985,0	612	1998	12/10/98	2751,7	720
1956	09/05/56	1234,0	466	1999	14/07/99	1832,9	570
1957	20/08/57	2674,7	728	2000	25/09/00	2284,0	649
1958	16/09/58	1030,0	420	2001	11/10/01	1975,6	596
1959	08/09/59	804,0	365	2002	02/10/02	1162,3	440
1960	28/10/60	1093,0	434	2003	24/12/03	1223,9	454
1961	05/11/61	1782,5	575	2004	27/10/04	1500,7	510
1962	20/10/62	1002,0	413	2005	20/09/05	1896,7	582
1963	28/03/63	1048,0	424	2006	27/12/06	580,7	303
1964	31/08/64	914,4	392	2007	25/05/07	1864,0	577
1965	15/07/65	1471,8	514	2008	31/10/08	1470,6	505
1966	23/02/66	1399,0	499	2009	03/10/09	2050,2	609
1967	06/03/67	1210,0	460	2010	08/05/10	2605,6	700
1968	27/01/68	745,0	350	2011	10/09/11	2388,3	665
1969	08/04/69	1286,0	478	2012	20/06/12	1813,6	568
1970 ¹²	09/07/70	1495,3	519	2013	02/07/13	2391,6	667

¹² Evento selecionado não corresponde ao máximo destes anos

Tabela 4.6. Data dos picos dos eventos selecionados (continuação)

Ano	Data pico	Q (m³/s)	H (cm)	Ano	Data pico	Q (m³/s)	H (cm)
1971	13/01/71	2428,5	689	2014	17/06/14	3385,5	813
1972	30/08/72	1833,2	584	2015	24/10/15	1901,0	583
1973	31/08/73	1760,5	571				

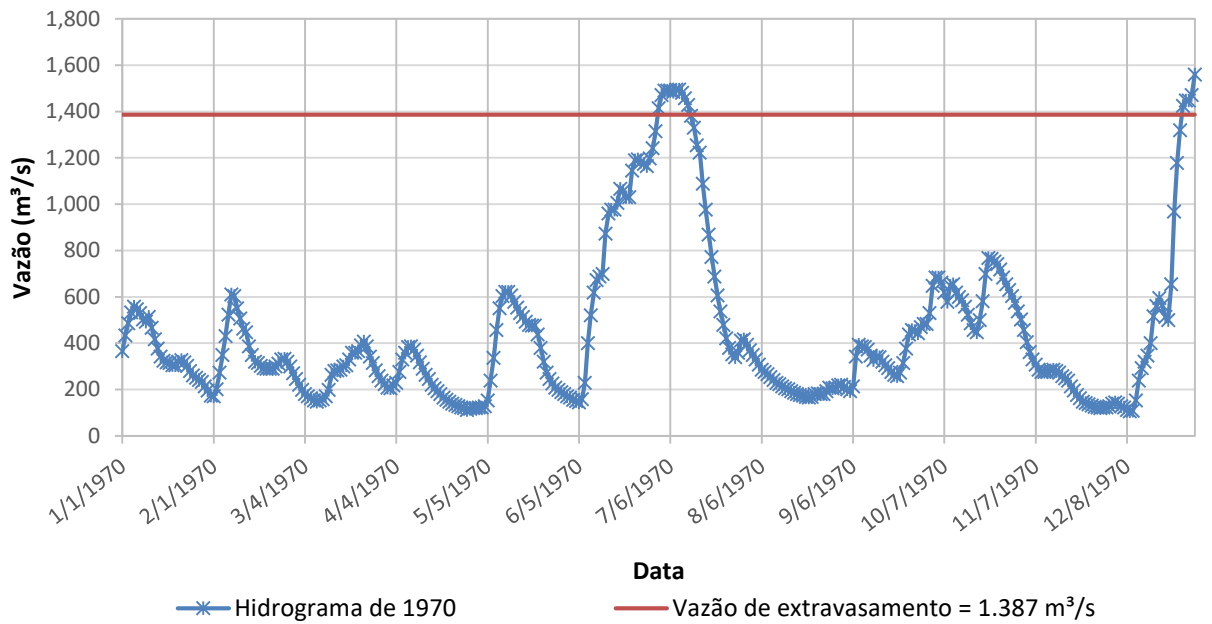


Figura 4.4. Hidrograma de 1970

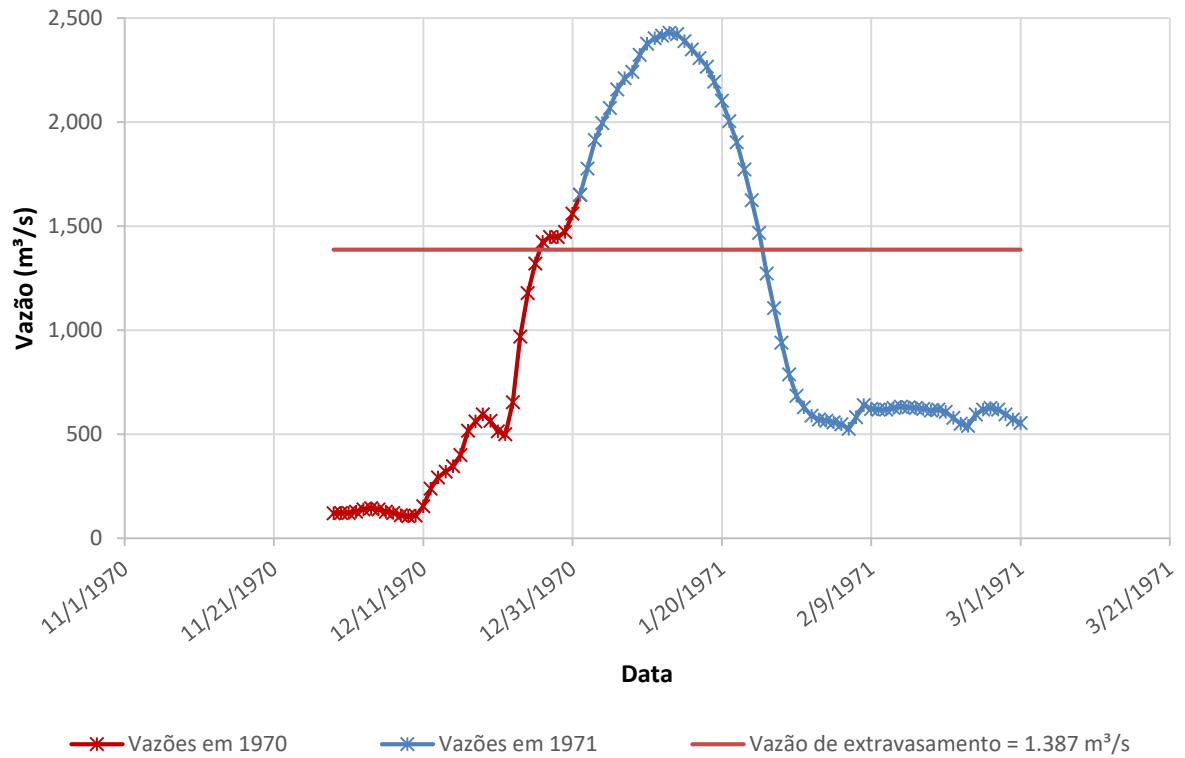


Figura 4.5. Evento de cheia na transição de 1970 para 1971

A Figura 4.6, por sua vez, apresenta o hidrograma de 1980 e, através dela, é possível verificar que sua vazão máxima ocorreu em 31 de dezembro. Porém, observando a transição entre os anos de 1980 e 1981 (Figura 4.7), percebe-se que o evento que se iniciou ao fim de 1980 atingiu seu máximo em janeiro de 1981. Por isso, este evento foi considerado o maior evento do ano de 1981 e, para 1980, considerou-se como evento máximo aquele ocorrido entre agosto e outubro de 1980, que é onde se encontra o segundo maior evento de cheia deste ano. Assim, o valor de vazão máxima para o ano de 1980 foi substituída pela vazão de pico do segundo maior evento de cheia deste ano.

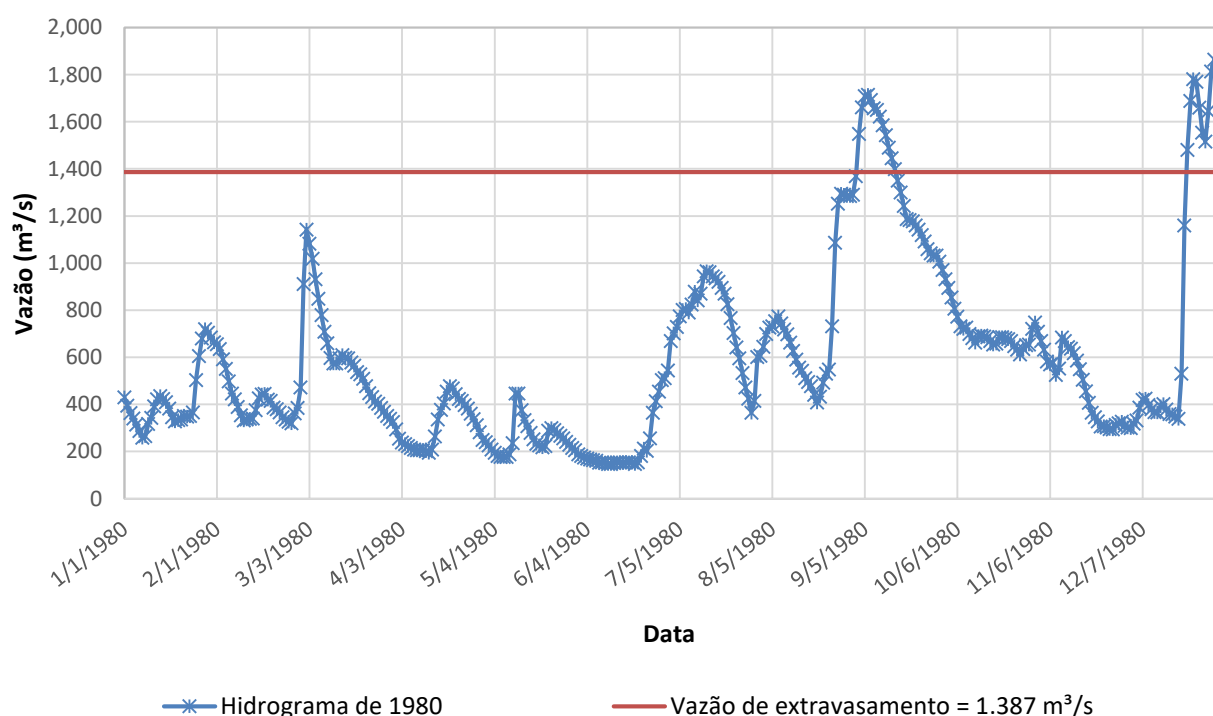


Figura 4.6. Hidrograma de 1980

Em 1980, ao se fazer a comparação entre as Tabelas 4.2 e 4.4, percebe-se que a vazão máxima calculada de 1.864,7 m³/s (Tabela 4.2) foi substituída pela vazão de 1.715 m³/s (Tabela 4.5), que teve seu máximo ocorrido em 06 de setembro deste ano. Assim, o evento ao qual pertencia a vazão de 1.864,7 m³/s, ocorrida em dezembro de 1980, foi atribuído ao ano de 1981 e, pelo mesmo motivo, o nível de água máximo do ano de 1980, igual a 575 cm (Tabela 4.3) foi substituído pelo nível de água igual 548 cm, correspondente ao dia de vazão máxima considerada para este ano.

A Tabela 4.7, então, apresenta em resumo os períodos de ocorrência e duração dos maiores eventos de cada ano utilizados nas análises do presente trabalho.

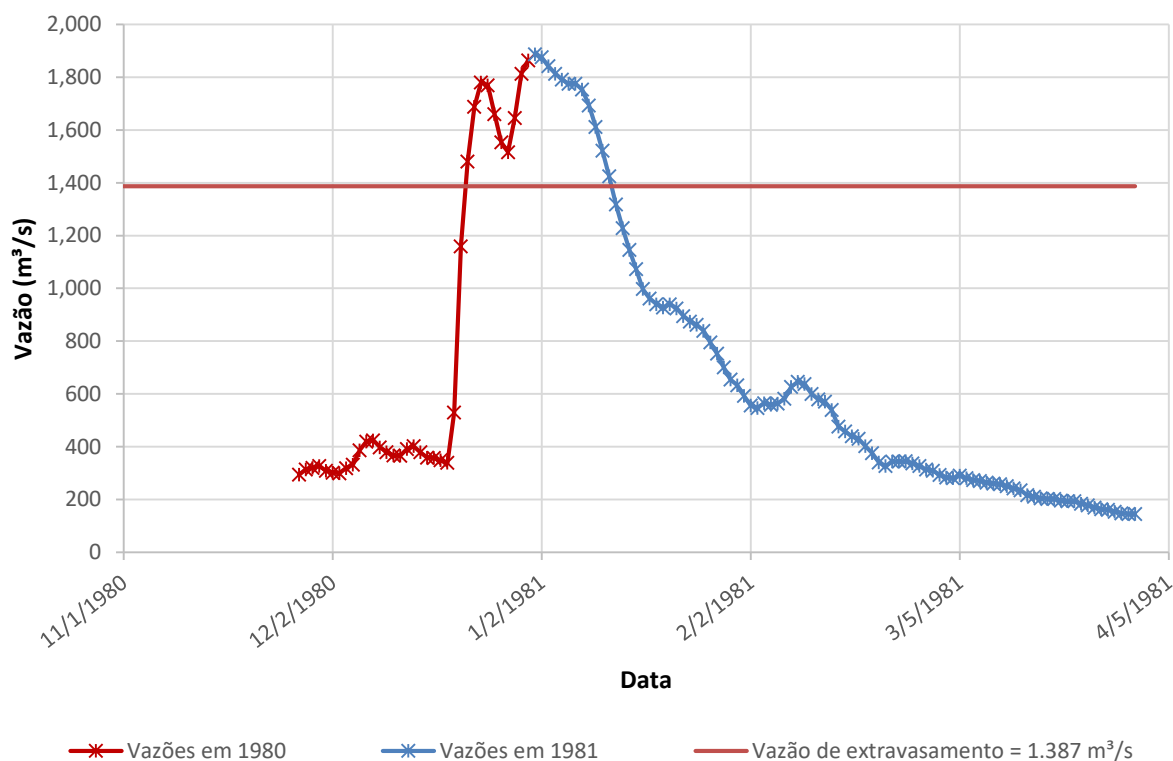


Figura 4.7. Evento de cheia na transição de 1980 para 1981

Tabela 4.7. Período de ocorrência e duração dos maiores eventos de cada ano

Ano	Início Dia	Fim Dia	Duração (dias)	Ano	Início Dia	Fim Dia	Duração (dias)
1931	06/06/1931	07/08/1931	62	1974	06/01/1974	15/02/1974	40
1932	11/04/1932	22/05/1932	41	1975	17/11/1975	07/01/1976	51
1933	10/09/1933	29/10/1933	49	1976	26/05/1976	07/07/1976	42
1934	04/01/1934	25/03/1934	80	1977	29/09/1977	29/11/1977	61
1935	11/09/1935	20/11/1935	70	1978	12/07/1978	11/08/1978	30
1936	28/05/1936	04/08/1936	68	1979	29/04/1979	25/06/1979	57
1937	06/11/1937	28/12/1937	52	1980	20/08/1980	27/11/1980	99
1938	19/06/1938	05/09/1938	78	1981	27/11/1980	14/04/1981	138
1939	31/10/1939	06/01/1940	67	1982	03/11/1982	05/01/1983	63
1940	26/03/1940	29/05/1940	64	1983	17/04/1983	14/09/1983	150
1941	30/01/1941	14/03/1941	43	1984	01/08/1984	19/09/1984	49
1942	27/01/1942	15/03/1942	47	1985	23/03/1985	23/05/1985	61
1943	29/07/1943	21/08/1943	23	1986	26/11/1986	12/01/1987	47
1944	18/02/1944	18/04/1944	60	1987	05/05/1987	12/06/1987	38

Tabela 4.8. Período de ocorrência e duração dos maiores eventos de cada ano (continuação)

Ano	Início Dia	Fim Dia	Duração (dias)	Ano	Início Dia	Fim Dia	Duração (dias)
1945	16/06/1945	19/08/1945	64	1988	24/04/1988	14/09/1988	143
1946	05/01/1946	04/05/1946	119	1989	07/09/1989	10/10/1989	33
1947	17/09/1947	02/12/1947	76	1990	21/12/1989	26/02/1990	67
1948	15/07/1948	10/09/1948	57	1991	19/06/1991	05/08/1991	47
1949	04/06/1949	04/08/1949	61	1992	12/05/1992	27/06/1992	46
1950	09/10/1950	11/11/1950	33	1993	04/09/1993	24/11/1993	81
1951	09/10/1951	14/11/1951	36	1994	19/06/1994	22/07/1994	33
1952	29/08/1952	29/12/1952	122	1995	26/12/1994	18/04/1995	113
1953	15/10/1953	29/11/1953	45	1996	16/06/1996	07/08/1996	52
1954	26/04/1954	14/06/1954	49	1997	13/09/1997	30/12/1997	108
1955	09/06/1955	23/08/1955	75	1998	02/08/1998	03/12/1998	123
1956	27/04/1956	14/06/1956	48	1999	09/06/1999	07/09/1999	90
1957	26/06/1957	20/10/1957	116	2000	10/09/2000	17/11/2000	68
1958	27/08/1958	23/10/1958	57	2001	21/09/2001	11/11/2001	51
1959	29/08/1959	12/10/1959	44	2002	05/09/2002	24/10/2002	49
1960	07/10/1960	26/12/1960	80	2003	08/12/2003	25/01/2004	48
1961	05/09/1961	31/12/1961	117	2004	08/10/2004	07/12/2004	60
1962	07/09/1962	02/12/1962	86	2005	29/08/2005	18/12/2005	111
1963	25/02/1963	14/05/1963	78	2006	19/12/2006	03/01/2007	15
1964	18/08/1964	20/10/1964	63	2007	23/04/2007	12/07/2007	80
1965	01/07/1965	18/08/1965	48	2008	01/10/2008	14/12/2008	74
1966	19/01/1966	24/03/1966	64	2009	03/09/2009	19/11/2009	77
1967	01/02/1967	27/03/1967	54	2010	22/04/2010	09/07/2010	78
1968	16/01/1968	06/03/1968	50	2011	06/06/2011	07/10/2011	123
1969	21/03/1969	23/05/1969	63	2012	22/05/2012	12/07/2012	51
1970	05/06/1970	22/08/1970	78	2013	17/06/2013	19/07/2013	32
1971	09/12/1970	06/02/1971	59	2014	16/05/2014	12/08/2014	88
1972	24/08/1972	13/11/1972	81	2015	25/09/2015	31/12/2015	97
1973	11/08/1973	03/12/1973	114				

Com os dados apresentados na Tabela 4.7, foi possível calcular os instantes de início e fim do extravasamento, como abordado na próxima seção, para cada um dos eventos que ultrapassaram o valor de referência de extravasamento, correspondente à vazão de 1.387 m³/s ou 4,89 m.

Conforme determinado na Seção 3.2.5, algumas cheias também apresentaram oscilações em seus períodos de pico, reproduzindo um pico com dois ou mais períodos acima do limiar de extravasamento. Estes períodos acima do limiar de extravasamento, em ordem cronológica, e seus instantes de início e fim, também são apresentados no Apêndice E.

A partir desta tabela é possível perceber que, na maioria dos anos em que houve superação do limiar de extravasamento, o período de pico se deu por completo em uma única vez acima do limiar, alguns anos tiveram dois períodos acima do limiar e apenas os anos de 1973 e 2005 apresentaram três períodos acima do limiar de extravasamento durante o pico.

4.4 CÁLCULO DOS INDICADORES DE CHEIA

O cálculo dos indicadores de cheia foi realizado a partir dos dados de vazão correspondentes aos períodos indicados na Tabela 4.7, exceto para os indicadores de cheia “*vazão máxima anual*” (I_1) e “*nível de água máximo anual*” (I_2), os quais já foram obtidos na análise preliminar dos dados (Seção 4.2) e apresentados na Tabela 4.5.

No Apêndice F, apresenta-se a matriz **X** original de indicadores de cheia, com seus valores não tratados, e que são apresentados separadamente nas próximas seções.

4.4.1 Volume total extravasado (I_3)

Os resultados de volumes totais extravasados (I_3) no período analisado são apresentados na Tabela 4.9. Na referida tabela são destacados os dez eventos com maiores volumes extravasados, sendo possível perceber que o ano de 1983 apresentou o maior dos volumes, seguido dos anos de 1957 e 1992, nesta ordem.

Representando a Tabela 4.9, tem-se a Figura 4.8. Na referida figura, são destacados os dez eventos com maiores volumes totais extravasados, enquanto a média dos volumes totais extravasados de todos os eventos é representada pela linha horizontal e equivale a 0,70 km³.

Tabela 4.9. Volumes totais extravasados

Ano	Volume extravasado (km³)	Ano	Volume extravasado (km³)	Ano	Volume extravasado (km³)	Ano	Volume extravasado (km³)
1931	0,01	1953	0,06	1975	0,27	1997	2,08
1932	0,20	1954	1,15	1976	0,01	1998	3,33
1933	0,00	1955	1,23	1977	0,00	1999	0,46
1934	0,00	1956	0,00	1978	0,00	2000	0,84
1935	3,21	1957	5,35	1979	0,06	2001	0,52
1936	0,00	1958	0,00	1980	0,23	2002	0,00
1937	0,00	1959	0,00	1981	0,60	2003	0,00
1938	1,11	1960	0,00	1982	1,34	2004	0,02
1939	0,27	1961	0,31	1983	9,69	2005	0,77
1940	0,00	1962	0,00	1984	0,46	2006	0,00
1941	0,00	1963	0,00	1985	0,00	2007	0,31
1942	0,00	1964	0,00	1986	0,00	2008	0,02
1943	0,00	1965	0,04	1987	1,02	2009	1,16
1944	0,00	1966	0,00	1988	0,26	2010	1,57
1945	0,00	1967	0,00	1989	0,55	2011	1,72
1946	1,39	1968	0,00	1990	0,72	2012	0,42
1947	0,46	1969	0,00	1991	0,00	2013	1,13
1948	0,02	1970	0,08	1992	3,87	2014	2,87
1949	0,00	1971	1,60	1993	1,77	2015	0,65
1950	0,09	1972	0,70	1994	0,00		
1951	0,00	1973	0,44	1995	1,24		
1952	0,00	1974	0,00	1996	0,06		

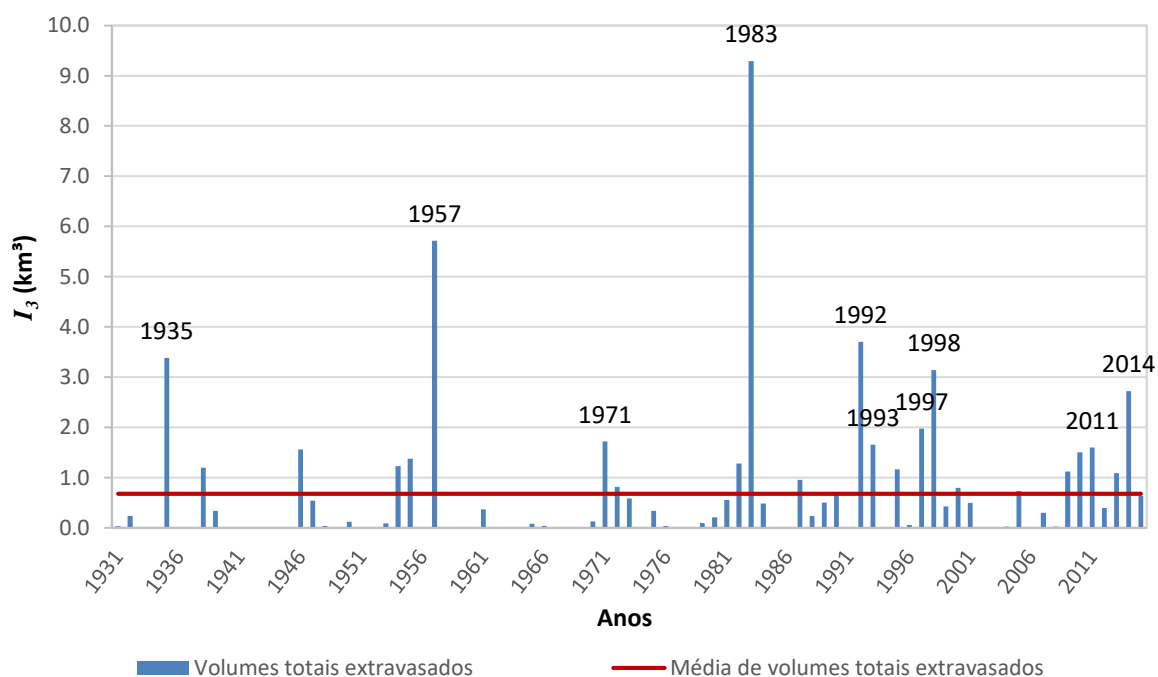


Figura 4.8. Volumes totais extravasados

4.4.2 Tempo acima do limiar de extravasamento (I_4)

Os resultados de tempos acima do limiar de extravasamento (I_4) no período analisado são apresentados na Tabela 4.10. Na referida tabela são destacados os dez eventos com maiores tempos acima do limiar de extravasamento, sendo possível perceber que o ano de 1957 apresentou o maior dos tempos, seguido dos anos de 1983 e 1998, nesta ordem.

Tabela 4.10. Tempos acima do limiar de extravasamento

Ano	I_4 (dias)	Ano	I_4 (dias)	Ano	I_4 (dias)	Ano	I_4 (dias)
1931	3,1	1953	6,5	1975	16,4	1997	56,6
1932	8,2	1954	20,0	1976	5,1	1998	61,0
1933	0,0	1955	35,9	1977	0,0	1999	16,7
1934	0,0	1956	0,0	1978	0,0	2000	17,8
1935	43,2	1957	88,9	1979	6,9	2001	18,2
1936	0,0	1958	0,0	1980	13,2	2002	0,0
1937	0,7	1959	0,0	1981	21,6	2003	0,0
1938	21,5	1960	0,0	1982	27,1	2004	5,3
1939	16,1	1961	14,3	1983	87,9	2005	42,2
1940	0,0	1962	0,0	1984	17,6	2006	0,0
1941	0,0	1963	0,0	1985	0,0	2007	13,7
1942	0,0	1964	0,0	1986	0,0	2008	6,4
1943	0,0	1965	8,5	1987	22,3	2009	45,5
1944	0,0	1966	2,1	1988	14,9	2010	25,3
1945	0,0	1967	0,0	1989	16,7	2011	55,1
1946	40,2	1968	0,0	1990	19,2	2012	16,9
1947	19,2	1969	0,0	1991	0,0	2013	19,5
1948	4,7	1970	11,2	1992	24,8	2014	24,9
1949	0,0	1971	29,8	1993	27,2	2015	35,4
1950	7,7	1972	27,6	1994	0,0		
1951	0,0	1973	29,6	1995	23,3		
1952	0,0	1974	0,0	1996	8,9		

Representando a Tabela 4.10, tem-se a Figura 4.9. Na referida figura, são destacados os dez eventos com maiores tempos acima do limiar de extravasamento, enquanto a média de tempos acima do limiar de extravasamento de todos os eventos é representada pela linha horizontal e equivale a 14,7 dias.

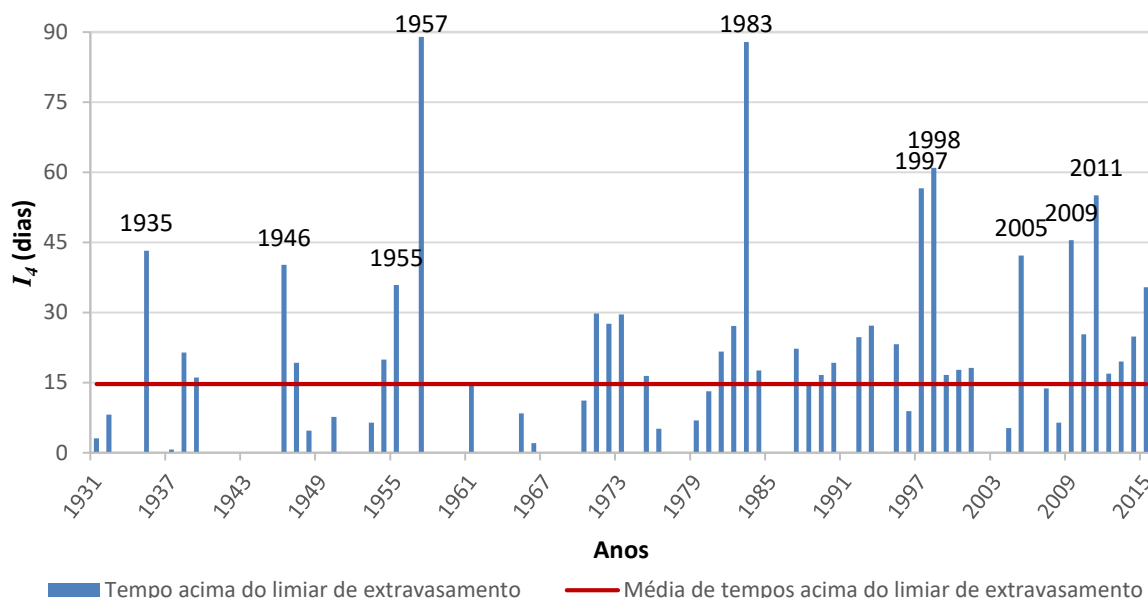


Figura 4.9. Tempos acima do limiar de extravasamento

4.4.3 Tempo entre início e ultrapassagem do limiar de extravasamento (I_5)

Os resultados de tempos entre início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento (I_5) no período analisado são apresentados na Tabela 4.11. Uma vez que quanto menor o tempo decorrido entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento piores as consequências para a população local, na referida tabela são destacados os dez eventos com menores tempos entre início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento (I_5), sendo possível perceber que o ano de 2010 apresentou o menor dos tempos, seguido dos anos de 1972 e 1957, nesta ordem.

Tabela 4.11. Tempos decorridos entre início do evento e ultrapassagem do limiar de extravasamento

Ano	I_5 (dias)	Ano	I_5 (dias)	Ano	I_5 (dias)	Ano	I_5 (dias)
1931	6,4	1953	16,3	1975	17,1	1997	26,0
1932	8,6	1954	20,9	1976	17,9	1998	12,5
1933	0,0	1955	8,5	1977	0,0	1999	24,9
1934	0,0	1956	0,0	1978	0,0	2000	5,3
1935	13,2	1957	5,3	1979	14,9	2001	10,7
1936	0,0	1958	0,0	1980	13,1	2002	0,0
1937	12,8	1959	0,0	1981	24,7	2003	0,0
1938	6,5	1960	0,0	1982	10,8	2004	17,9

Tabela 4.12. Tempos decorridos entre início do evento e ultrapassagem do limiar de extravasamento (continuação)

Ano	I_5 (dias)	Ano	I_5 (dias)	Ano	I_5 (dias)	Ano	I_5 (dias)
1939	27,8	1961	58,4	1983	32,5	2005	6,8
1940	0,0	1962	0,0	1984	6,0	2006	0,0
1941	0,0	1963	0,0	1985	0,0	2007	28,6
1942	0,0	1964	0,0	1986	0,0	2008	28,8
1943	0,0	1965	9,9	1987	10,1	2009	11,2
1944	0,0	1966	34,3	1988	29,1	2010	1,9
1945	0,0	1967	0,0	1989	5,9	2011	57,0
1946	27,7	1968	0,0	1990	27,0	2012	20,3
1947	7,6	1969	0,0	1991	0,0	2013	5,6
1948	31,5	1970	26,7	1992	15,8	2014	22,5
1949	0,0	1971	17,6	1993	20,0	2015	18,2
1950	7,8	1972	3,7	1994	0,0		
1951	0,0	1973	17,4	1995	17,4		
1952	0,0	1974	0,0	1996	23,8		

Representando a Tabela 4.11, tem-se a Figura 4.10. Na referida figura, são destacados os dez eventos com menores tempos entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento (I_5), enquanto a média de tempos entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento de todos os eventos é representada pela linha horizontal e equivale a 11,2 dias.

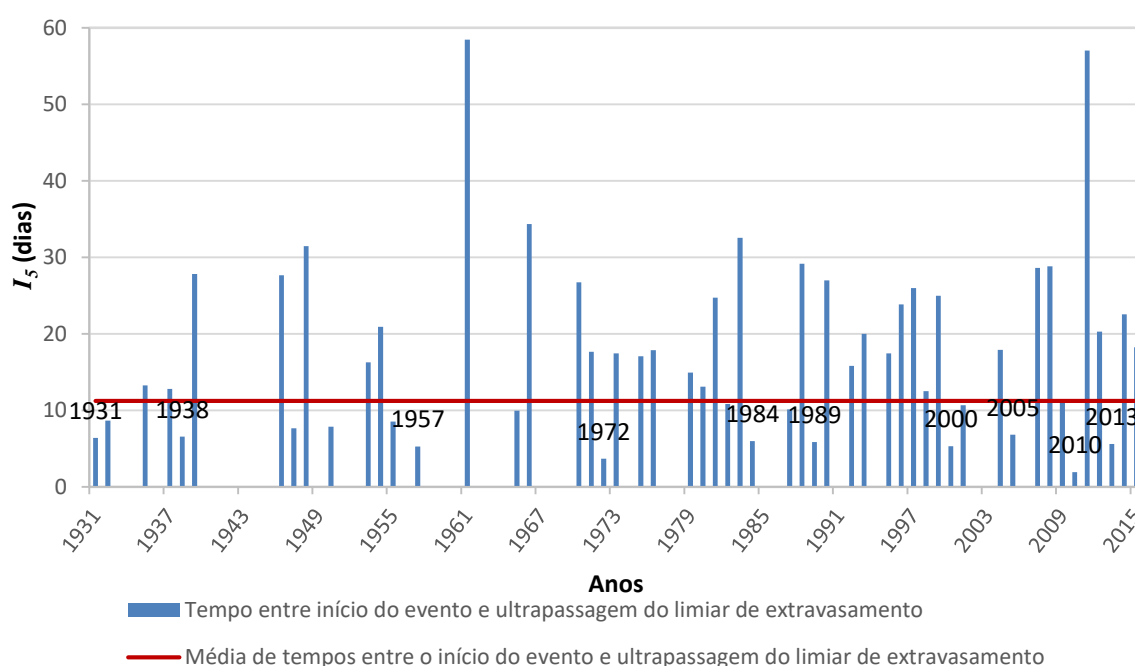


Figura 4.10. Tempos entre início do evento e ultrapassagem do limiar de extravasamento

4.4.4 Taxa média de ascensão do hidrograma de cheia (I_6)

Os resultados de taxas médias de ascensão da onda de cheia (I_6) no período analisado são apresentados na Tabela 4.13. Uma vez que quanto maior a taxa média de ascensão do hidrograma de cheia (I_6) mais rapidamente o evento atingiu o limiar de extravasamento, na referida tabela são destacados os dez eventos com maiores taxas médias de ascensão do hidrograma de cheia, sendo possível perceber que o ano de 2010 apresentou a maior taxa média, seguido dos anos de 1972 e 1957, nesta ordem.

Tabela 4.13. Taxas médias de ascensão no trecho entre o início da onda de cheia e o instante de extravasamento

Ano	I_6 (m³/s/dias)	Ano	I_6 (m³/s/dias)	Ano	I_6 (m³/s/dias)	Ano	I_6 (m³/s/dias)
1931	139,9	1953	72,8	1975	60,6	1997	43,8
1932	110,3	1954	58,3	1976	60,1	1998	75,2
1933	0,0	1955	114,6	1977	0,0	1999	48,0
1934	0,0	1956	0,0	1978	0,0	2000	211,5
1935	81,3	1957	233,6	1979	85,7	2001	98,3
1936	0,0	1958	0,0	1980	74,8	2002	0,0
1937	84,0	1959	0,0	1981	44,2	2003	0,0
1938	162,6	1960	0,0	1982	62,1	2004	70,2
1939	44,5	1961	21,8	1983	33,0	2005	171,4
1940	0,0	1962	0,0	1984	191,3	2006	0,0
1941	0,0	1963	0,0	1985	0,0	2007	43,6
1942	0,0	1964	0,0	1986	0,0	2008	40,1
1943	0,0	1965	117,7	1987	122,5	2009	97,5
1944	0,0	1966	30,9	1988	41,7	2010	510,8
1945	0,0	1967	0,0	1989	168,7	2011	21,8
1946	46,0	1968	0,0	1990	47,2	2012	57,4
1947	108,8	1969	0,0	1991	0,0	2013	194,8
1948	40,1	1970	46,5	1992	72,5	2014	54,3
1949	0,0	1971	72,6	1993	61,2	2015	59,5
1950	147,1	1972	306,7	1994	0,0		
1951	0,0	1973	61,2	1995	63,9		
1952	0,0	1974	0,0	1996	52,5		

Representando a Tabela 4.13, tem-se a Figura 4.11. Na referida figura, são destacados os dez eventos com maiores taxas médias de ascensão do hidrograma

de cheia (I_6), enquanto a média de taxas médias de ascensão do hidrograma de cheia de todos os eventos é representada pela linha horizontal e equivale a 60,5 m³/s/dia.

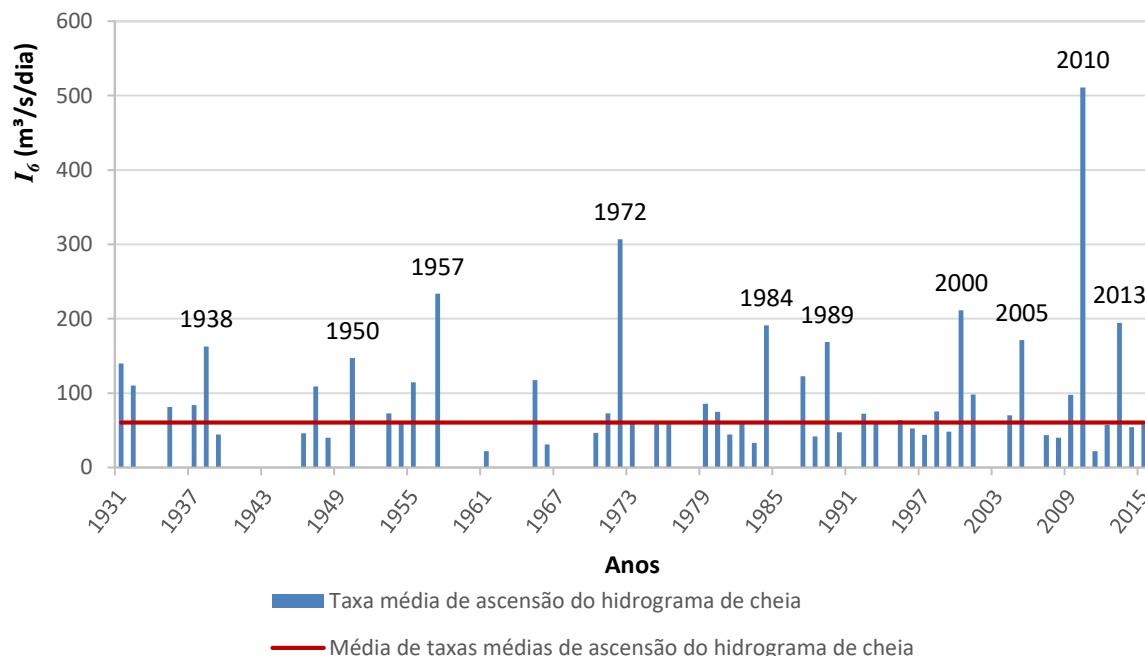


Figura 4.11. Taxas médias de ascensão do hidrograma de cheia

4.4.5 Taxa média de recessão da onda de cheia (I_7)

Os resultados de taxas médias de decaimento da onda de cheia (I_7) no período analisado são apresentados na

Tabela 4.14. Uma vez que quanto menor a taxa média de decaimento do hidrograma de cheia (I_7) mais sérias são as consequências para a população local, na referida tabela são destacados os dez eventos com menores taxas médias de recessão da onda de cheia sendo possível perceber que o ano de 1976 apresentou a menor taxa, seguida dos anos de 1966 e 2008, nesta ordem.

Representando a

Tabela 4.14, tem-se a Figura 4.12. Na referida figura, são destacados os dez eventos com menores taxas médias de recessão do hidrograma de cheia (I_7), enquanto a média de taxas médias de recessão do hidrograma de cheia de todos os eventos é representada pela linha horizontal e equivale a 36 m³/s/dia.

Tabela 4.14. Médias taxas de decaimento da onda de cheia

Ano	I_7 (m³/s/dias)	Ano	I_7 (m³/s/dias)	Ano	I_7 (m³/s/dias)	Ano	I_7 (m³/s/dias)
1931	26,7	1953	34,5	1975	58,9	1997	19,6
1932	77,1	1954	103,0	1976	8,1	1998	86,4
1933	0,0	1955	23,5	1977	0,0	1999	67,2
1934	0,0	1956	0,0	1978	0,0	2000	111,2
1935	91,8	1957	26,9	1979	36,9	2001	66,4
1936	0,0	1958	0,0	1980	35,5	2002	0,0
1937	24,0	1959	0,0	1981	44,0	2003	0,0
1938	71,1	1960	0,0	1982	62,8	2004	27,3
1939	28,2	1961	33,5	1983	132,6	2005	50,6
1940	0,0	1962	0,0	1984	35,4	2006	0,0
1941	0,0	1963	0,0	1985	0,0	2007	42,0
1942	0,0	1964	0,0	1986	0,0	2008	15,9
1943	0,0	1965	19,3	1987	83,3	2009	24,7
1944	0,0	1966	8,6	1988	28,5	2010	108,4
1945	0,0	1967	0,0	1989	111,1	2011	62,2
1946	78,0	1968	0,0	1990	87,8	2012	52,2
1947	44,0	1969	0,0	1991	0,0	2013	99,3
1948	25,6	1970	22,2	1992	189,1	2014	129,8
1949	0,0	1971	83,9	1993	92,0	2015	79,6
1950	49,3	1972	109,4	1994	0,0		
1951	0,0	1973	18,7	1995	78,0		
1952	0,0	1974	0,0	1996	24,8		

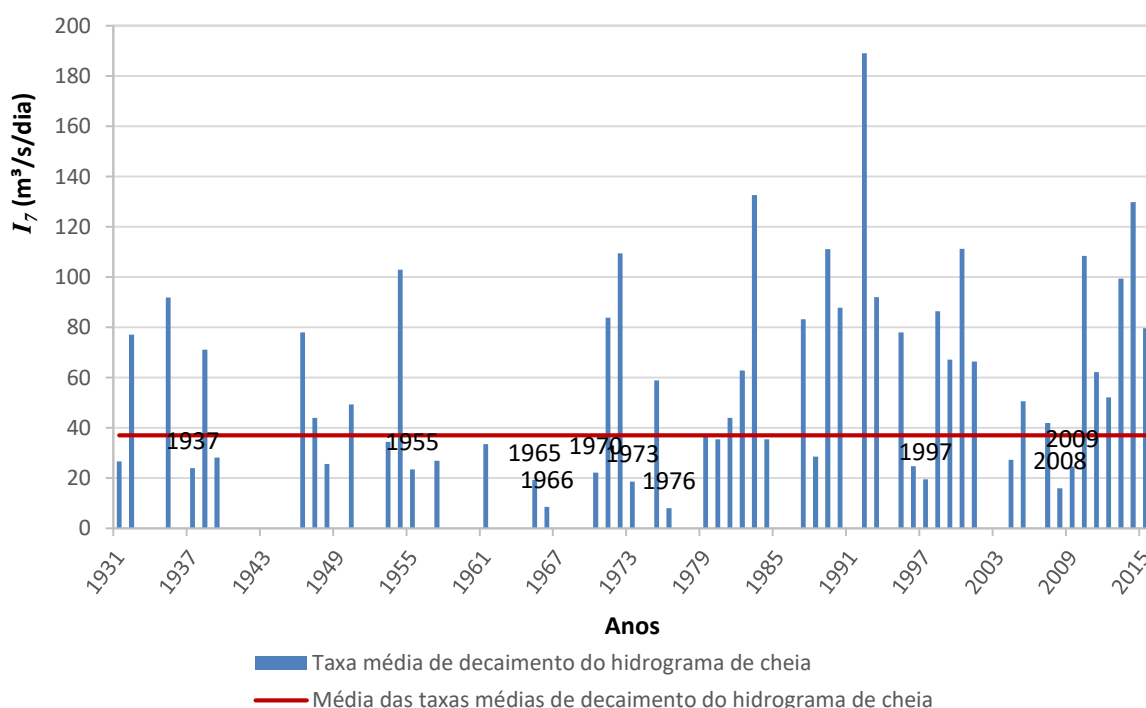


Figura 4.12. Taxas médias de recessão do hidrogramas de cheia

4.5 ANÁLISE INICIAL DOS INDICADORES DE CHEIA

Calculados os indicadores de cheias, foi feito o seu ranqueamento e estimadas as suas correlações.

4.5.1 Ranqueamento dos 10 maiores eventos de cheia

Classificando os maiores eventos de acordo com os indicadores selecionados, houve uma alteração em suas posições, se comparadas com a ordem estabelecida pela abordagem usual (análise de vazão (I_1) e nível de água (I_2) máximos anuais). A Tabela 4.15 apresenta as posições dos dez maiores eventos de cheia registrados na estação fluviométrica União da Vitória (65310000), ordenadas a partir dos diferentes indicadores de cheia calculados (vazão máxima anual – I_1 , nível de água máximo anual – I_2 , volume total extravasado – I_3 , tempo acima do limiar de extravasamento – I_4 , tempo entre início do evento e ultrapassagem do limiar de cheia – I_5 , e taxas médias de ascensão – I_6 – e recessão – I_7 – do hidrograma de cheia).

Tabela 4.15. Posições dos maiores eventos, de acordo com os diferentes indicadores

Posição	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
1º	1983	1983	1983	1957	2010	2010	1976
2º	1992	1992	1957	1983	1972	1972	1966
3º	2014	1935	1992	1998	1957	1957	2008
4º	1935	2014	1998	1997	2000	2000	1973
5º	1993	1957	1935	2011	2013	2013	1965
6º	1998	1993	2014	2009	1989	1984	1997
7º	1957	1998	1997	1935	1984	2005	1970
8º	2010	2010	1993	2005	1931	1989	1955
9º	1995	1971	2011	1946	1938	1938	1937
10º	1971	1954	1971	1955	2005	1950	2009

É importante ressaltar que, para a obtenção da Tabela 4.15, as variáveis *vazão máxima anual* (I_1), *nível de água máximo anual* (I_2), *volume total extravasado* (I_3), *tempo acima do limiar de extravasamento* (I_4), *taxa média de ascensão do hidrograma de cheia* (I_6) foram ordenadas de modo decrescente, uma vez que quanto maiores seus valores, piores as consequências dos eventos para a população local. As variáveis *tempo entre início do evento e ultrapassagem do limiar de*

extravasamento (I_5) e *taxa média de recessão do hidrograma de cheia* (I_7), entretanto, foram classificadas em ordem crescente, pois quanto mais rápida a subida do hidrograma (I_5), ou quanto mais lenta a sua descida (I_7), mais crítico é o evento.

A partir da Tabela 4.15, pode-se perceber que o ano de 1983 se apresentou em primeiro lugar para as classificações de acordo com as variáveis *vazão máxima anual* (I_1), *nível de água máximo anual* (I_2), *volume total extravasado* (I_3), e segundo, para a classificação de acordo com *tempo acima do limiar de extravasamento* (I_4), e não se classificou entre os dez maiores eventos considerando as demais variáveis.

Por outro lado, ainda de acordo com a Tabela 4.15, o ano de 2010, apesar de se posicionar como a oitava maior *vazão máxima anual* (I_1) (ou oitavo maior *nível de água máximo anual* – I_2) registrada e de não se classificar entre os dez maiores eventos segundo as variáveis *volume total extravasado* (I_3), *tempo acima do limiar de extravasamento* (I_4) e *taxa média de recessão do hidrograma de cheia* (I_7), foi o ano que atingiu o *limiar de extravasamento* (I_5) mais rapidamente, em aproximadamente dois dias, e teve a maior *taxa média de ascensão do hidrograma de cheia* (I_6), gerando transtornos em um período de tempo menor que a cheia do ano de 1983, por exemplo.

Por fim, o ano de 1976, classificado em primeiro lugar segundo a variável *taxa média de recessão do hidrograma de cheia* (I_7), não se posicionou entre os dez maiores eventos de acordo com as demais variáveis.

Casos semelhantes podem ser notados se observadas as posições de todos os eventos registrados, reforçando, portanto, a necessidade de análises de outras variáveis além de vazões máximas e níveis de água.

4.5.2 Análise de correlação das variáveis

Aplicando a função “*correl()*” do *Microsoft Office Excel*, obteve-se a matriz de correlação dos indicadores de cheias apresentada (Tabela 4.16), simétrica e com diagonal igual a 1,0.

A partir da Tabela 4.16, notou-se que a maior correlação existe entre as variáveis *vazão máxima anual* (I_1) e *nível de água máximo anual* (I_2), cuja relação já é conhecida hidrológicamente pela curva de descarga. A correlação entre as demais variáveis, por sua vez, foi sempre inferior a 0,90, e, no caso das variáveis *tempo entre início do evento e ultrapassagem do limiar de cheia* (I_5) e *taxa média de ascensão do hidrograma de cheia* (I_6), a correlação foi próxima de zero.

Nos casos de alta correlação, como aquela existente entre os indicadores *vazão máxima anual* (I_1) e *nível de água máximo anual* (I_2), poderia haver o descarte de uma das duas variáveis, porém, no presente estudo, uma vez que a correlação próxima de 1 ocorreu apenas entre as variáveis citadas acima, nenhuma delas foi descartada.

Tabela 4.16. Matriz de correlação dos indicadores de cheia

	(I_1)	(I_2)	(I_3)	(I_4)	(I_5)	(I_6)	(I_7)
(I_1)	1,000	0,990	0,864	0,805	0,485	0,427	0,855
(I_2)		1,000	0,809	0,805	0,513	0,474	0,857
(I_3)			1,000	0,840	0,291	0,252	0,610
(I_4)				1,000	0,441	0,409	0,583
(I_5)					1,000	0,022	0,386
(I_6)						1,000	0,556
(I_7)							1,000

4.5.3 Tratamento inicial dos indicadores de cheia

Nesta seção é apresentado o pré-tratamento das informações, realizado através do método de normalização. Aplicado o método apresentado na Seção 3.2.6.3, foi obtida a tabela apresentada no Apêndice G. Na tabela, os valores iguais a 0 correspondem aos mínimos valores dos dados brutos, enquanto que os dados iguais a 1 representam os máximos valores dentre a série bruta de dados.

4.6 AVALIAÇÃO INICIAL DO PROGRAMA

Nesta seção são apresentadas as análises realizadas para a validação do programa apresentado no Apêndice C (*fuzzy c-means*) deste trabalho. Para isso, foram comparados os resultados obtidos a partir do código criado e da função pré-existente no *software* MATLAB.

4.6.1 Exemplo genérico de duas dimensões

Nesta seção, procurou-se reproduzir o exemplo genérico de duas dimensões apresentado no trabalho de Bezdek *et al.* (1983), divergindo apenas a matriz de partição difusa inicial, que foi estimada pelos autores a partir de equações por eles estabelecidas, e, no presente estudo, adotou-se uma matriz de partição difusa inicial aleatória.

A aleatoriedade da matriz de partição difusa inicial, por sua vez, é aplicada considerando-se que o somatório dos graus de pertencimento de um dado da amostra a todos os grupos seja igual a 1.

Bezdek *et al.* (1983) utilizaram como dados de entrada os valores apresentados na Tabela 4.17. É importante ressaltar que Bezdek *et al.* (1983), na aplicação do método *fuzzy c-means*, não utilizaram a normalização de dados, mas sim os valores dos dados brutos, uma vez que possuem a mesma ordem de grandeza.

Tabela 4.17. Dados de entrada do exemplo genérico de duas dimensões

Dados da amostra	Indicador 1	Indicador 2
1	0	4
2	0	3
3	1	5
4	2	4
5	3	3
6	2	2
7	2	1
8	1	0
9	5	5
10	6	5
11	7	6
12	5	3
13	7	3
14	6	2
15	6	1
16	8	1

4.6.1.1 Resultados obtidos a partir do código do Apêndice C

Aplicando as Equações (3.13) a (3.19), apresentadas no Capítulo 3, aos dados apresentados na Tabela 4.17, e considerando o erro máximo tolerado neste exemplo, segundo Bezdek *et al.* (1983), igual a 10^{-2} , o qual é superior àquele estipulado para a aplicação do método *fuzzy c-means* a dados hidrológicos (igual a 10^{-5}), tem-se os resultados apresentados na Tabela 4.18.

Na Tabela 4.18 são apresentados os valores dos parâmetros de determinação do número adequado de grupos (F_c , $1 - F_c$ e H_c), obtidos a partir do parâmetro de incerteza (r) e do número de grupos (K), que variam de 1,25 a 2,00 e de 2 a 5, respectivamente. A Tabela 4.18 diverge levemente dos resultados apresentados em Bezdek *et al.* (1983), uma vez que os autores utilizaram equações pré-determinadas para estimar a matriz de partição difusa inicial e, no presente estudo, estimou-se esta matriz de modo aleatório. As diferenças, entretanto, são pequenas.

Tabela 4.18. Parâmetros resultantes da implementação do método *fuzzy c-means* ao exemplo genérico de duas dimensões, apresentado em Bezdek *et al.* (1983)

r	K	F_c	$(1 - F_c)$	H_c
1,25	2	0,998	0,002	0,007
	3	0,984	0,016	0,036
	4	0,994	0,006	0,019
	5	0,979	0,021	0,046
1,5	2	0,955	0,045	0,103
	3	0,903	0,097	0,202
	4	0,901	0,099	0,201
	5	0,914	0,086	0,200
1,75	2	0,873	0,127	0,240
	3	0,817	0,183	0,359
	4	0,804	0,196	0,402
	5	0,775	0,225	0,469
2	2	0,793	0,207	0,353
	3	0,714	0,286	0,531
	4	0,699	0,301	0,601
	5	0,643	0,357	0,732

Nota-se também que Bezdek *et al.* (1983), apesar de sugerirem como critério um número de grupos (K) variando de 2 ao número de indicadores (J), ou seja, pertencente intervalo $2 < K < J$, adotaram um número máximo de grupos igual a 5,

para fins didáticos, para que fosse possível identificar o comportamento dos parâmetros F_c , $1 - F_c$ e H_c e como seriam utilizados para determinar o parâmetro de incerteza (r) e o número adequado de grupos (K).

A determinação do parâmetro de incerteza (r) e do número adequado de grupos ocorreu a partir da identificação do maior valor de F_c e dos menores valores para $(1 - F_c)$ e H_c . Assim, percebe-se que o número adequado de grupos (K) para o exemplo apresentado é igual a 2, para o parâmetro de incerteza (r) igual a 1,25, resultando em uma função objetivo igual a 60,36.

Buscando validar a utilização destes parâmetros como critérios de determinação do número adequado de grupos (K) e do parâmetro de incerteza (r) a ser utilizado, analisou-se a matriz de partição difusa obtida ao final da simulação ideal. Desta forma, observou-se que, para um mesmo número de grupos (K) e diferentes parâmetros de incerteza (r), os valores máximos da matriz de partição difusa foram maiores para o valor de r igual a 1,25.

A Figura 4.13 apresenta os máximos valores da matriz de partição difusa, obtidos para o número de grupos (K) fixo e igual a 2 e os valores do parâmetro de incerteza (r) ($1,25 \leq r \leq 2,00$). Com o valor deste parâmetro igual a 1,25, os máximos valores da matriz de partição difusa se mantiveram sempre superiores aos demais. Para os demais números de grupos (3, 4 e 5), considerando os valores de r , os máximos valores da matriz de partição difusa tiveram o mesmo comportamento apresentado na Figura 4.13.

Do mesmo modo, observou-se que, para um mesmo valor do parâmetro de incerteza (r) e diferentes números de grupo (K) ($2 \leq K \leq 5$), os valores máximos da matriz de partição difusa foram maiores para o número de grupos (K) igual a 2. A Figura 4.14 apresenta os máximos valores da matriz de partição difusa, obtidos para o parâmetro de incerteza (r) fixo e igual a 1,25 para os diferentes números de grupos (K). Para o número de grupos (K) igual a 2, os máximos valores da matriz de partição difusa se mantiveram sempre superiores e com menos oscilações que os demais. Para os demais valores de r (1,50; 1,75 e 2,00), considerando os diferentes valores de K , os máximos valores da matriz de partição difusa tiveram o mesmo comportamento apresentado na Figura 4.14.

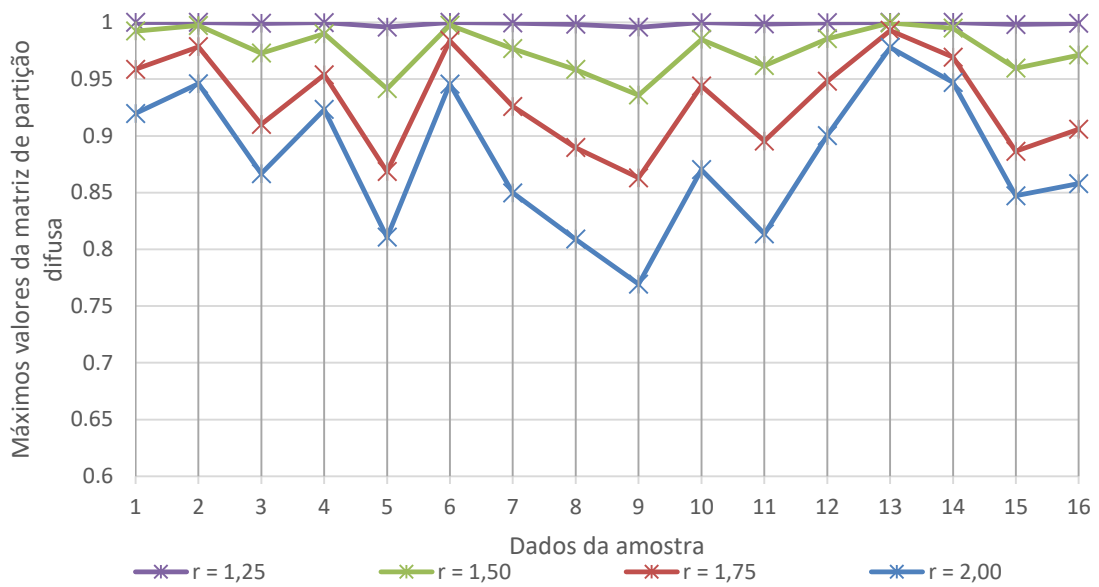


Figura 4.13. Máximos valores da matriz de partição difusa para $K = 2$

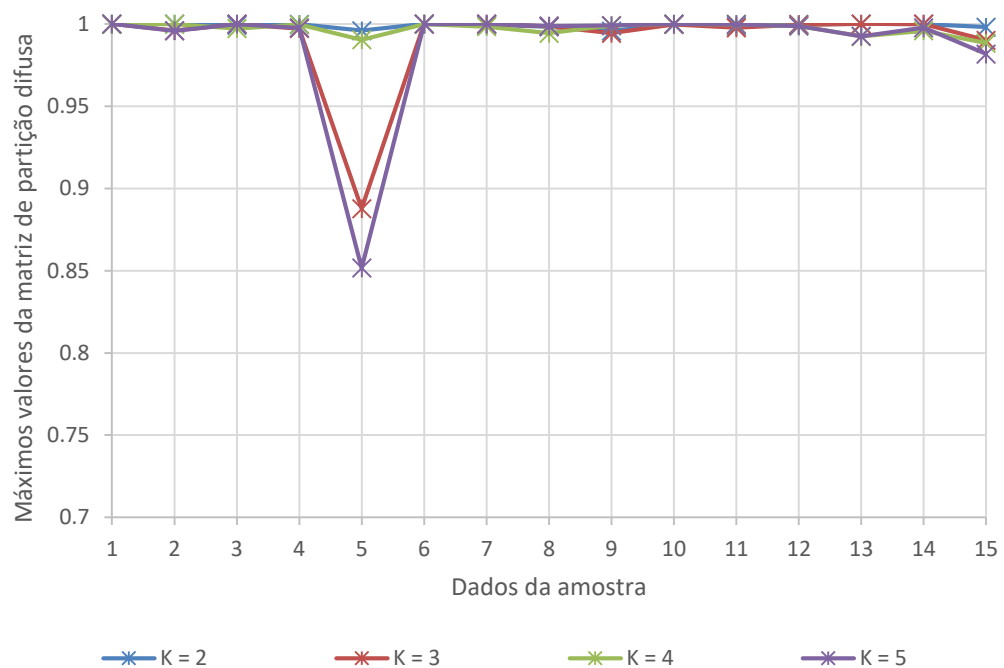


Figura 4.14. Máximos valores da matriz de partição difusa para $r = 1,25$

Considerando, então, os valores adequados para o número de grupos e o parâmetro de incerteza ($K = 2$ e $r = 1,25$, respectivamente) deste exemplo, apresentam-se os resultados obtidos com a simulação.

A matriz de partição difusa obtida para estes parâmetros ($K = 2$ e $r = 1,25$) é apresentada na Tabela 4.19, na qual pode-se observar a proximidade dos valores a 0

ou 1, de acordo com o grupo ao qual pertencem os dados, e comprovando o objetivo da lógica difusa: indicar alto grau de pertencimento a um determinado grupo e baixos níveis de similaridade aos demais.

Esta matriz de partição difusa (Tabela 4.19) gerou o agrupamento apresentado na Tabela 4.20, representado graficamente pela Figura 4.15.

Tabela 4.19. Matriz de partição difusa para $K = 2$ e $r = 1,25$

Dados da amostra	Similaridade ao grupo 1	Similaridade ao grupo 2
1	0,000	1,000
2	0,000	1,000
3	0,001	0,999
4	0,000	1,000
5	0,004	0,996
6	0,000	1,000
7	0,001	0,999
8	0,002	0,998
9	0,996	0,004
10	1,000	0,000
11	0,999	0,001
12	1,000	0,000
13	1,000	0,000
14	1,000	0,000
15	0,998	0,002
16	0,999	0,001

Tabela 4.20. Grupos formados no exemplo de duas dimensões, apresentado em Bezdek *et al.* (1983), para $K = 2$ e $r = 1,25$,

Grupo 1	9	10	11	12	13	14	15	16
Grupo 2	1	2	3	4	5	6	7	8

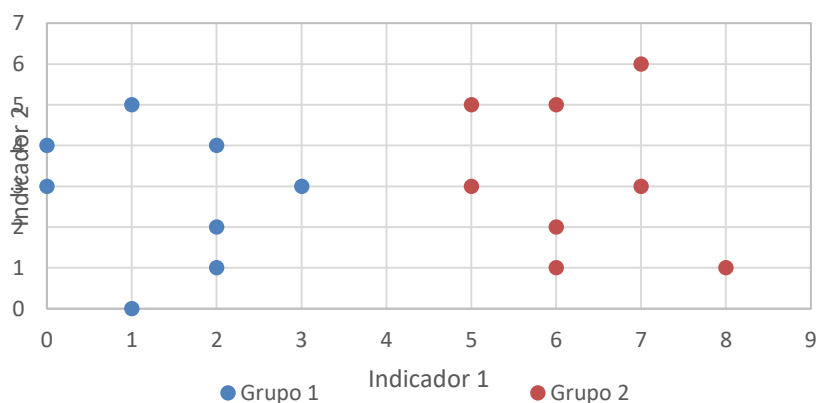


Figura 4.15. Agrupamento dos dados do exemplo de duas dimensões, apresentado em Bezdek *et al.* (1983), para $K = 2$ e $r = 1,25$

Os centróides destes grupos, por sua vez, atingiram a sua posição ideal na iteração de número 4, ou seja, nesta iteração o erro entre as duas últimas matrizes de partição difusa calculado foi menor que o erro máximo tolerado ($\varepsilon = 10^{-2}$) entre elas. O resultado dos centróides, até a iteração 4 ($i = 1, 2, 3, 4$), é apresentado na Figura 4.16. Os centróides obtidos através da iteração 3 ($i = 3$) não são visíveis na Figura 4.16 pois foram muito próximos dos centróides da iteração 4 ($i = 4$), cujos valores de coordenadas são apresentados na Tabela 4.21.

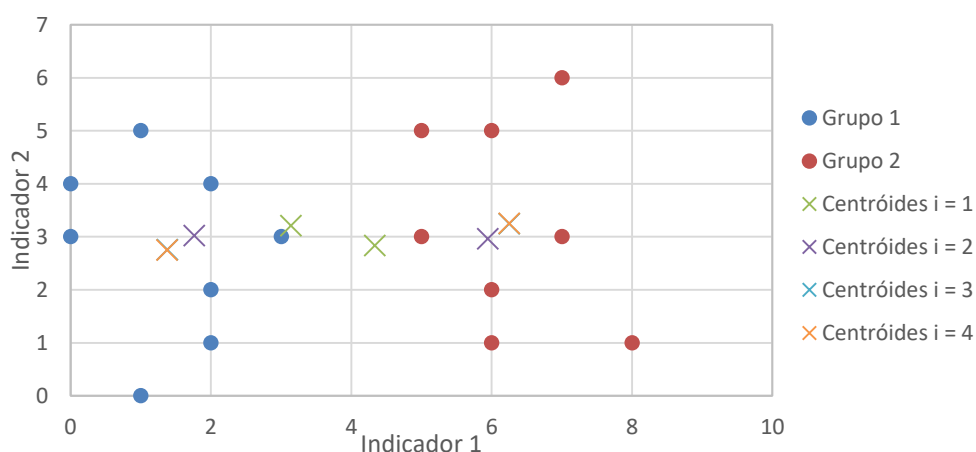


Figura 4.16. Convergência dos centróides do agrupamento dos dados do exemplo de duas dimensões, apresentado em Bezdek *et al.* (1983), para $K = 2$ e $r = 1,25$

Tabela 4.21. Centróides dos grupos formados pelo exemplo de duas dimensões, apresentado em Bezdek *et al.* (1983), para $K = 2$ e $r = 1,25$

	Indicador 1	Indicador 2
Centróide grupo 1	1,38	2,75
Centróide grupo 2	6,25	3,25

Dessa forma, é possível observar o funcionamento do método, o comportamento dos centróides dos grupos no decorrer das iterações ($i = 1, 2, 3, 4$), bem como, a adequabilidade dos parâmetros utilizados como critério de identificação do número de grupos e do parâmetro de incerteza a ser aplicado.

4.6.1.2 Resultados obtidos a partir da função “fcm” do software MatLab

A função pré-definida *fcm* no software MATLAB é baseada nas mesmas equações apresentadas no Capítulo 3 (Equações (3.13) a (3.19)), e os resultados obtidos através desta simulação são apresentados na Tabela 4.22.

Tabela 4.22. Parâmetros resultantes da aplicação da função *fcm* ao exemplo genérico de duas dimensões, apresentado em Bezdek *et al.* (1983)

r	K	F_c	$(1 - F_c)$	H_c
1,25	2	0,998	0,002	0,007
	3	0,982	0,018	0,039
	4	0,975	0,025	0,058
	5	0,996	0,004	0,013
1,5	2	0,955	0,045	0,103
	3	0,926	0,074	0,160
	4	0,901	0,099	0,201
	5	0,887	0,113	0,229
1,75	2	0,873	0,127	0,239
	3	0,791	0,209	0,404
	4	0,804	0,196	0,402
	5	0,779	0,221	0,464
2	2	0,794	0,206	0,352
	3	0,686	0,314	0,575
	4	0,700	0,300	0,600
	5	0,642	0,358	0,733

Os parâmetros F_c , $(1 - F_c)$ e H_c apresentados na Tabela 4.22, entretanto, não são critérios definidos pelo método de agrupamento *fuzzy c-means* especificamente, mas sim pela aplicação destes parâmetros em trabalhos de outros autores como critério de determinação do número de grupos (K) e do grau de imprecisão (r) a serem trabalhados.

Nesta simulação (a partir da função *fcm* pré-existente no *software* MATLAB), assim como na anterior, apresentada na Seção 4.6.1.1, os parâmetros adequados encontrados são $K = 2$ e $r = 1,25$, como destacado na Tabela 4.22, gerando uma matriz de partição difusa final, apresentada na Tabela 4.23.

Pode-se notar, a partir das matrizes de partição difusas encontradas com as simulações executadas a partir do programa apresentado no Apêndice C (simulações apresentadas na Tabela 4.19) e da função *fcm* do MATLAB (Tabela 4.23), que houve diferenças entre estas matrizes geradas. Entretanto, a diferença final entre as matrizes de partição difusa é pequena, podendo ser identificada através da terceira casa decimal apenas no item número 7 da amostra, onde a variação é de (0,001; 0,999) na Tabela 4.19 para (0,000; 1,000) na Tabela 4.22.

Tabela 4.23. Matriz de partição difusa final para $K = 2$ e $r = 1,25$

Dados da amostra	Similaridade ao grupo 1	Similaridade ao grupo 2
1	0,000	1,000
2	0,000	1,000
3	0,001	0,999
4	0,000	1,000
5	0,004	0,996
6	0,000	1,000
7	0,000	1,000
8	0,002	0,998
9	0,996	0,004
10	1,000	0,000
11	0,999	0,001
12	1,000	0,000
13	1,000	0,000
14	1,000	0,000
15	0,998	0,002
16	0,999	0,001

Estas diferenças, bem como as diferenças existentes entre os valores das funções objetivo encontrados (apresentados na Tabela 4.24), podem ser explicadas pela aleatoriedade da matriz de partição difusa inicial adotada. Ou seja, as matrizes de partição difusa iniciais adotadas nas duas simulações foram geradas de modo aleatório, resultando em valores iniciais diferentes e, conseqüentemente, resultados próximos, mas não idênticos, para a matriz de partição difusa final e, conseqüentemente, para a função objetivo (F_o).

As razões apresentadas no parágrafo anterior explicam as diferenças existentes entre as funções objetivo das simulações realizadas a partir do programa desenvolvido pela autora e da função *fcm* do MATLAB. Os valores são apresentados na Tabela 4.24, onde podem ser notadas diferenças a partir da sexta casa decimal apenas.

Tabela 4.24. Resultados das funções objetivo nas simulações realizadas, para $K = 2$ e $r = 1,25$

Simulação	Valor de F_o
Programa desenvolvido pela autora	60,3551994
Função <i>fcm</i> do MATLAB	60,3551925

O resultado do agrupamento, por sua vez, manteve-se constante. A Tabela 4.20 apresentada na seção anterior (Seção 4.6.1.1) representa não somente o

agrupamento obtido através da implementação do método *fuzzy c-means* pela autora deste trabalho, como também, o agrupamento obtido através da função *fcm* do MATLAB, que pode ser representado também pela Figura 4.15.

Os centróides obtidos através desta simulação foram equivalentes àqueles encontrados através da implementação do método *fuzzy c-means* realizado pela autora, apresentados na Tabela 4.21.

Portanto, percebe-se que as diferenças entre a implementação do método *fuzzy c-means* e a função *fcm* do MATLAB encontradas até aqui se referem à aleatoriedade da matriz de partição difusa inicial, que propicia a convergência do método de forma mais rápida ou mais lenta, de acordo com a sua proximidade com a matriz de partição difusa final adequada para cada caso.

4.6.2 Exemplo genérico de três dimensões

Os dados de entrada do exemplo genérico de três dimensões utilizados são apresentados na Tabela 4.25. Neste exemplo, por sua vez, a autora do presente trabalho optou pela utilização dos dados no intervalo [0; 1], ou seja, com os dados já normalizados. A determinação dos dados de entrada apresentados na Tabela 4.25 foi realizada de forma arbitrária, garantindo-se que os valores se mantivessem no intervalo 0 e 1 e que formassem, visivelmente, três grupos distintos.

Tabela 4.25. Dados de entrada do exemplo genérico de três dimensões

Dados da amostra	Indicador 1	Indicador 2	Indicador 3	Dados da amostra	Indicador 1	Indicador 2	Indicador 3
1	0,90	0,80	0,05	16	0,75	0,00	0,80
2	0,85	0,80	0,01	17	0,95	0,10	0,90
3	0,80	0,99	0,10	18	1,00	0,07	0,97
4	0,82	0,90	0,08	19	0,87	0,00	0,90
5	0,95	0,85	0,03	20	0,90	0,10	0,95
6	0,75	0,80	0,00	21	0,05	0,80	0,90
7	0,95	0,90	0,10	22	0,01	0,80	0,85
8	1,00	0,97	0,07	23	0,10	0,99	0,80
9	0,87	0,90	0,00	24	0,08	0,90	0,82
10	0,90	0,95	0,10	25	0,03	0,85	0,95
11	0,90	0,05	0,80	26	0,00	0,80	0,75
12	0,85	0,01	0,80	27	0,10	0,90	0,95
13	0,80	0,10	0,99	28	0,07	0,97	1,00
14	0,82	0,08	0,90	29	0,00	0,90	0,87
15	0,95	0,03	0,85	30	0,10	0,95	0,90

4.6.2.1 Resultados obtidos a partir do código do Apêndice C

Aplicando as Equações (3.13) a (3.19), apresentadas no Capítulo 3, aos dados apresentados na Tabela 4.25, e considerando o erro máximo tolerado neste exemplo igual a 10^{-5} , correspondente àquele estipulado para aplicação do método *fuzzy c-means* a dados hidrológicos, têm-se os resultados dos parâmetros da simulação, apresentados na Tabela 4.26.

Tabela 4.26. Parâmetros resultantes da aplicação do método *fuzzy c-means* ao exemplo genérico de três dimensões

r	K	F_c	$(1 - F_c)$	H_c
1,25	2	0,993	0,007	0,021
	3	1,000	0,000	0,000
	4	0,976	0,024	0,041
	5	0,953	0,047	0,083
1,50	2	0,911	0,089	0,171
	3	1,000	0,000	0,002
	4	0,937	0,063	0,101
	5	0,875	0,125	0,200
1,75	2	0,819	0,181	0,300
	3	0,993	0,007	0,026
	4	0,905	0,095	0,163
	5	0,820	0,180	0,296
2,00	2	0,755	0,245	0,386
	3	0,968	0,032	0,091
	4	0,861	0,139	0,263
	5	0,761	0,239	0,420

Na Tabela 4.26 são apresentados os valores dos parâmetros de determinação do número adequado de grupos (F_c , $1 - F_c$ e H_c), obtidos a partir do parâmetro de incerteza e do número de grupos, que variam de 1,25 a 2,00 e de 2 a 5, respectivamente. Aqui, da mesma forma como foi apresentado no exemplo genérico de duas dimensões, apesar da sugestão de se utilizar como critério um número de grupos (K) variando de 2 ao número de indicadores (J), ou seja, pertencente intervalo $2 < K < J$, foi adotado um número máximo de grupos igual a 5, para fins didáticos, para que fosse possível identificar o comportamento dos parâmetros F_c , $1 - F_c$ e H_c e como seriam utilizados para determinar o parâmetro de incerteza (r) e o número adequado de grupos (K).

A determinação do parâmetro de incerteza (r) e do número adequado de grupos (K) ocorreu a partir da identificação do maior valor de F_c e dos menores valores para $(1 - F_c)$ e H_c . Assim, percebeu-se que o número adequado de grupos (K) para o exemplo apresentado é igual a 3, para o parâmetro de incerteza (r) igual a 1,25, resultando em uma função objetivo igual a 0,3437.

Buscando validar a utilização destes parâmetros como critérios de determinação do número adequado de grupos (K) e do parâmetro de incerteza (r) a serem utilizados, analisou-se a matriz de partição difusa obtida ao final das simulações. Desta forma, observou-se que, para um mesmo número de grupos (K) e diferentes parâmetros de incerteza (r), os valores máximos da matriz de partição difusa foram maiores para o valor de r igual a 1,25.

Como exemplo, a Figura 4.17 apresenta os máximos valores da matriz de partição difusa, obtidos para o número de grupos (K) fixo e igual a 3 e os diferentes valores do parâmetro de incerteza (r) ($1,25 \leq r \leq 2,00$). Com o valor deste parâmetro igual a 1,25, como citado no parágrafo anterior, os máximos valores da matriz de partição difusa se mantiveram sempre superiores e com menos oscilações que os demais. Para os demais números de grupo (2, 4 e 5), considerando os diferentes valores de r , os máximos valores da matriz de partição difusa tiveram o mesmo comportamento apresentado na Figura 4.17.

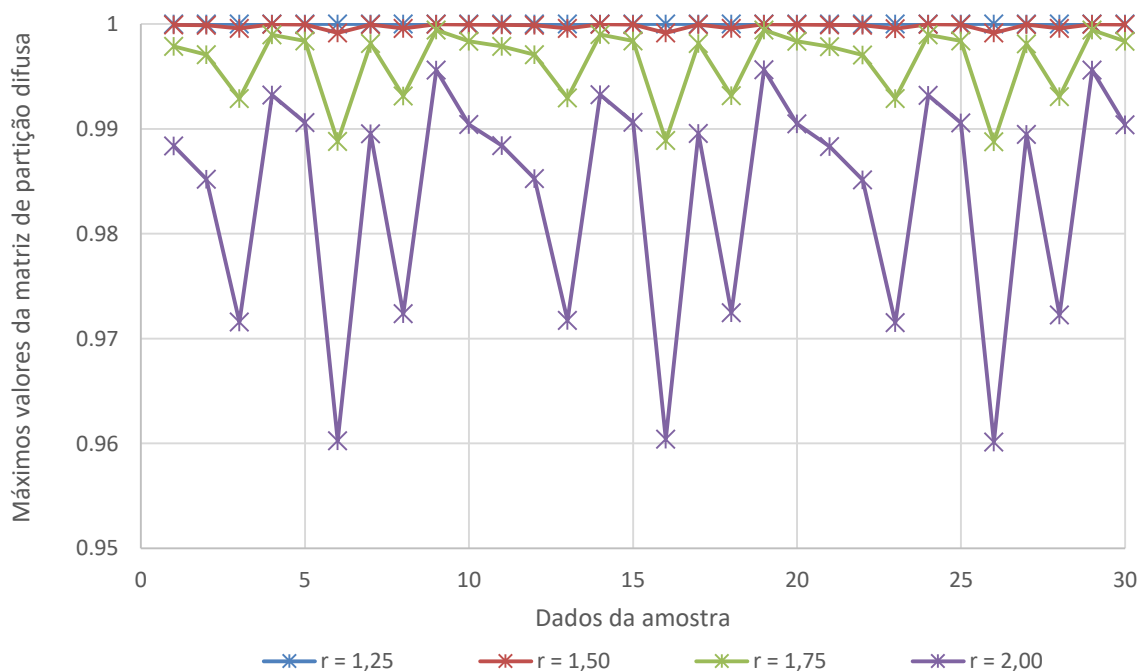


Figura 4.17. Máximos valores da matriz de partição difusa obtida no exemplo genérico de três dimensões, para $K = 3$

Do mesmo modo, observou-se que, para um mesmo valor do parâmetro de incerteza (r) e diferentes números de grupo (K) ($2 \leq K \leq 5$), os valores máximos da matriz de partição difusa foram maiores para o número de grupos (K) igual a 3. Como exemplo, a Figura 4.18 apresenta os máximos valores da matriz de partição difusa, obtidos para o parâmetro de incerteza (r) fixo e igual a 1,25 e os diferentes números de grupo (K). Para o número de grupos (K) igual a 3, os máximos valores da matriz de partição difusa se mantiveram sempre superiores e com menos oscilações que os demais. Para os demais valores de r (1,50; 1,75 e 2,00), considerando os diferentes valores de K , os máximos valores da matriz de partição difusa tiveram o mesmo comportamento apresentado na Figura 4.18.

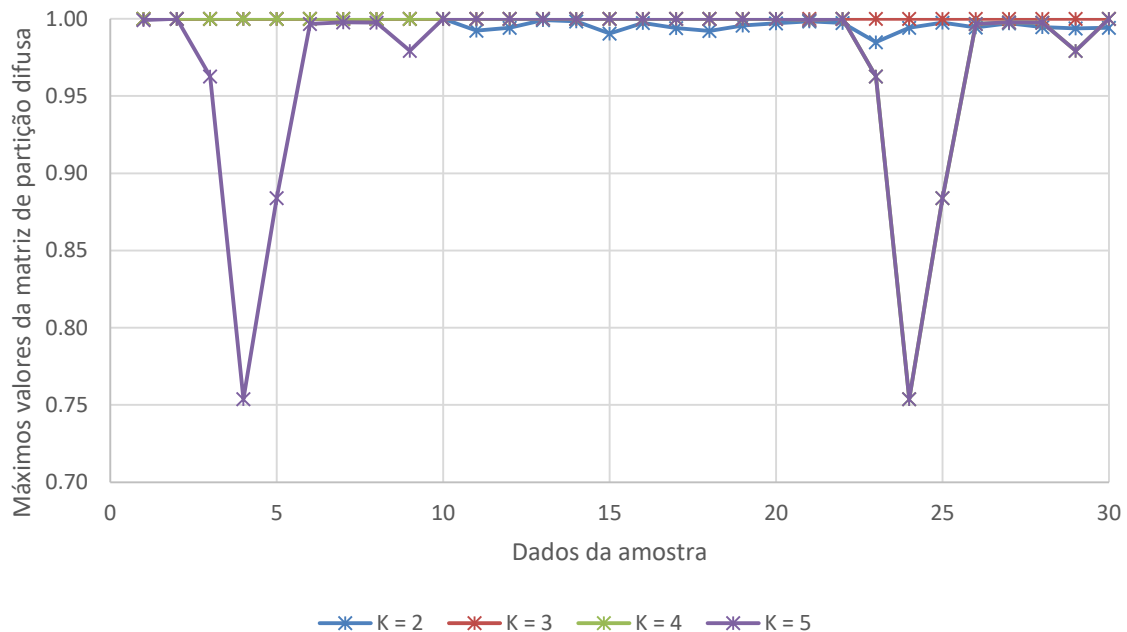


Figura 4.18. Máximos valores da matriz de partição difusa obtida no exemplo de três dimensões, para $r = 1,25$

Considerando, então, os valores adequados para o número de grupos e o parâmetro de incerteza ($K = 3$ e $r = 1,25$, respectivamente), apresentam-se os resultados obtidos com a simulação.

Na matriz de partição difusa obtida para estes parâmetros ($K = 3$ e $r = 1,25$), apresentada na Tabela 4.27, é possível observar valores iguais a 0 ou 1, de acordo com o grupo ao qual pertencem os dados, comprovando o objetivo da lógica difusa: indicar alto grau de pertencimento a um determinado grupo (indicado pela proximidade a 1) e baixos níveis de similaridade aos demais (valores próximos de 0). Esta matriz

de partição difusa gerou o agrupamento apresentado na Tabela 4.27 e representado graficamente pela Figura 4.19.

Os centróides destes grupos, por sua vez, atingiram a sua posição ideal na iteração de número 4 ($i = 4$), ou seja, nesta iteração o erro entre as duas últimas matrizes de partição difusa calculado foi menor que o erro máximo tolerado ($\varepsilon = 10^{-5}$) entre elas. O resultado dos centróides, até a iteração 4 ($i = 1, 2, 3, 4$), é apresentado na Figura 4.20 e o resultado final dos centróides, na Tabela 4.29.

Tabela 4.27. Matriz de partição difusa obtida no exemplo de três dimensões, para $K = 3$ e $r = 1,25$

Dado da amostra	Similaridade ao grupo 1	Similaridade ao grupo 2	Similaridade ao grupo 3
1	0,0000	1,0000	0,0000
2	0,0000	1,0000	0,0000
3	0,0000	1,0000	0,0000
4	0,0000	1,0000	0,0000
5	0,0000	1,0000	0,0000
6	0,0000	1,0000	0,0000
7	0,0000	1,0000	0,0000
8	0,0000	1,0000	0,0000
9	0,0000	1,0000	0,0000
10	0,0000	1,0000	0,0000
11	1,0000	0,0000	0,0000
12	1,0000	0,0000	0,0000
13	1,0000	0,0000	0,0000
14	1,0000	0,0000	0,0000
15	1,0000	0,0000	0,0000
16	1,0000	0,0000	0,0000
17	1,0000	0,0000	0,0000
18	1,0000	0,0000	0,0000
19	1,0000	0,0000	0,0000
20	1,0000	0,0000	0,0000
21	0,0000	0,0000	1,0000
22	0,0000	0,0000	1,0000
23	0,0000	0,0000	1,0000
24	0,0000	0,0000	1,0000
25	0,0000	0,0000	1,0000
26	0,0000	0,0000	1,0000
27	0,0000	0,0000	1,0000
28	0,0000	0,0000	1,0000
29	0,0000	0,0000	1,0000
30	0,0000	0,0000	1,0000

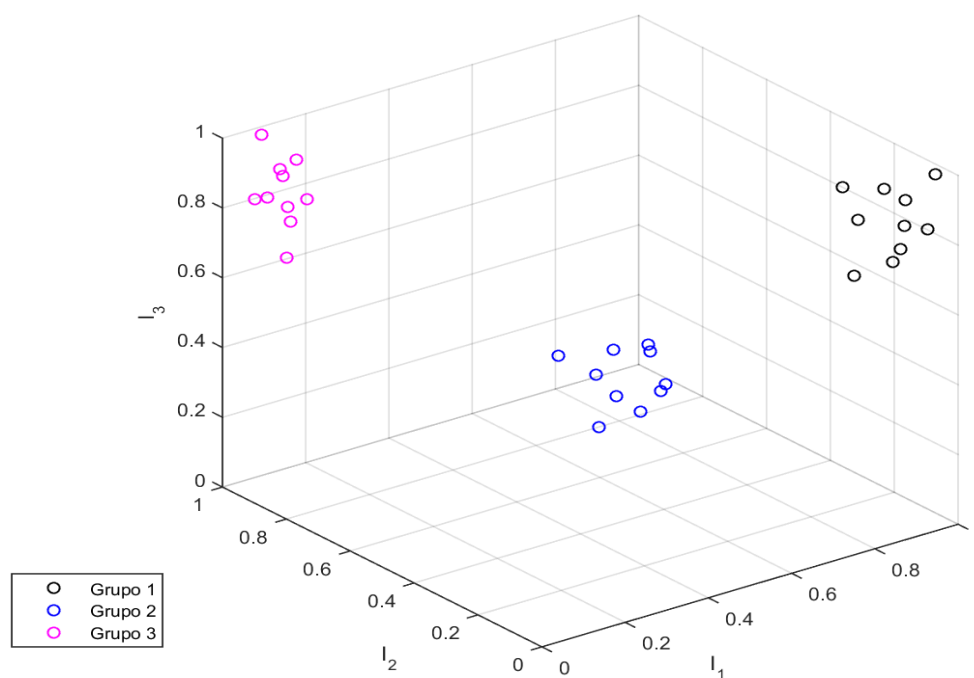


Figura 4.19. Agrupamento dos dados obtido no exemplo de três dimensões, para $K = 3$ e $r = 1,25$

Tabela 4.28. Grupos formados obtidos a partir do exemplo de três dimensões, para $K = 3$ e $r = 1,25$

Grupo 1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Grupo 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grupo 3	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Tabela 4.29. Centróides dos grupos obtidos com o exemplo de três dimensões, para $K = 3$ e $r = 1,25$

	Indicador 1	Indicador 2	Indicador 3
Centróide grupo 1	0,879	0,054	0,886
Centróide grupo 2	0,879	0,886	0,054
Centróide grupo 3	0,054	0,886	0,879

Dessa forma, é possível observar o funcionamento do método, o comportamento dos centróides dos grupos no decorrer das iterações ($i = 1, 2, 3, 4$), bem como, a adequabilidade dos parâmetros utilizados como critério de identificação do número de grupos e do parâmetro de incerteza a ser aplicado.

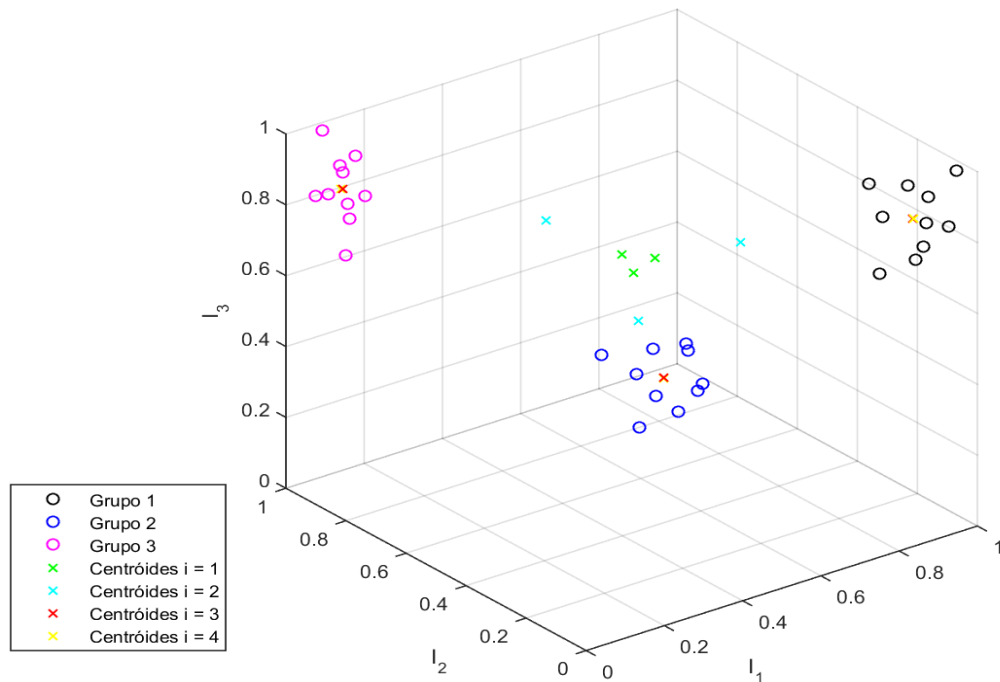


Figura 4.20. Convergência dos centróides do agrupamento obtida no exemplo de três dimensões, para $K = 3$ e $r = 1,25$

4.6.2.2 Resultados obtidos a partir da função “fcm” do software MatLab

A função pré-definida *fcm* no software MATLAB é baseada nas mesmas equações apresentadas no Capítulo 3 (Equações (3.13) a (3.19)), e os resultados obtidos através desta simulação são apresentados na Tabela 4.30.

Os parâmetros F_c , $(1 - F_c)$ e H_c apresentados na Tabela 4.30, entretanto, não são critérios definidos pelo método de agrupamento *fuzzy c-means* especificamente, mas sim pela aplicação destes parâmetros em trabalhos de outros autores como critério de determinação do número de grupos (K) e do grau de imprecisão (r) a serem trabalhados.

Nesta simulação (a partir da função *fcm* pré-existente no software MATLAB), assim como na anterior, apresentada na Seção 4.6.2.1, os parâmetros adequados encontrados são $K = 3$ e $r = 1,25$, como destacado na Tabela 4.30, gerando uma matriz de partição difusa final com pequenas variações daquela gerada na simulação anterior (Seção 4.6.2.1). Estas diferenças, porém, são identificadas apenas na nona casa decimal dos graus de aderência das matrizes, fazendo com que a matriz

apresentada para os resultados da implementação do método *fuzzy c-means* (Tabela 4.27) seja considerada igual à matriz de partição difusa da função *fcm* do MATLAB.

Tabela 4.30. Parâmetros resultantes da aplicação da função *fcm* ao exemplo genérico de três dimensões

r	K	F_c	$(1 - F_c)$	H_c
1,25	2	0,994	0,006	0,020
	3	1,000	0,000	0,000
	4	0,977	0,023	0,041
	5	0,947	0,053	0,091
1,5	2	0,916	0,084	0,164
	3	1,000	0,000	0,002
	4	0,937	0,063	0,101
	5	0,934	0,066	0,121
1,75	2	0,816	0,184	0,304
	3	0,993	0,007	0,026
	4	0,906	0,094	0,163
	5	0,820	0,180	0,296
2	2	0,755	0,245	0,386
	3	0,968	0,032	0,091
	4	0,861	0,139	0,264
	5	0,830	0,170	0,352

Uma vez que estas diferenças são pequenas, as variações nas funções objetivo entre as duas simulações não são significativas, correspondendo, então, a função objetivo a 0,3437.

O resultado do agrupamento, por sua vez, também se manteve constante. A Tabela 4.27, apresentada na seção 4.6.2.1, representa não somente o agrupamento obtido através da implementação do método *fuzzy c-means* pela autora deste trabalho, como também, o agrupamento obtido através da função *fcm* do MATLAB.

Os centróides obtidos através desta simulação foram equivalentes àqueles encontrados através da execução da implementação do método *fuzzy c-means* realizado pela autora, apresentados na Tabela 4.29.

Portanto, percebe-se que as diferenças entre a implementação do método *fuzzy c-means* e a função *fcm* do MATLAB encontradas, inicialmente, entre as Seções 4.6.1.1 e 4.6.1.2, e, em seguida, entre as Seções 4.6.2.1 e 4.6.2.2, referem-se à aleatoriedade da matriz de partição difusa inicial, que propicia a convergência do

método de forma mais rápida ou mais lenta, de acordo com a sua proximidade com a matriz de partição difusa final adequada para cada caso.

No presente estudo, portanto, foi utilizada a implementação do método realizada pela autora deste trabalho, uma vez que está garantida a validade do processo desenvolvido.

4.7 AGRUPAMENTO DE CHEIAS

Utilizando as informações normalizadas, foi possível iniciar o agrupamento dos dados históricos de União da Vitória. Os resultados apresentados para o agrupamento dos dados foram obtidos através da implementação do método *fuzzy c-means*, baseada nas equações apresentadas na Seção 3.2.8 (Equações (3.13) a (3.24)).

4.7.1 Determinação do número de grupos (K) e do parâmetro de incerteza (r)

Conforme apresentado ao final da Seção 3.2.8, faz-se necessário encontrar um número ótimo de grupos (K) para posterior análise das características das cheias em União da Vitória. Para isso, foram aplicadas as Equações (3.19) a (3.24) para os parâmetros de incerteza variando de 1,25 a 2,00, incrementados a cada 0,25, e para os números de grupo (K) iguais a 3, incrementados de 1 em 1, até o número de grupos (K) igual a 7. O número de grupos inicial foi adotado igual a 3 pois considera a existência de 3 grupos principais: um grupo de eventos sem extravasamento, um grupo de eventos extremos máximos e um grupo de eventos intermediários. A Tabela 4.31 apresenta os resultados obtidos a partir das simulações do método *fuzzy c-means* para diversos números de grupos (K) e os variados valores de parâmetros de incerteza (r).

Através da Tabela 4.31, pode-se perceber que o número ideal de grupos (K) encontrado é igual a 4, para um parâmetro de incerteza (r) igual a 1,25, uma vez que esta simulação apresentou o maior valor para o parâmetro F_c , igual a 0,9316, e os menores valores para os parâmetros $(1 - F_c)$ e H_c , iguais a 0,0683 e 0,1274, respectivamente.

Desta forma, foram utilizados estes valores ($K = 4$ e $r = 1,25$) para o agrupamento de cheias. Os resultados deste agrupamento são apresentados na próxima seção.

Tabela 4.31. Resultados dos parâmetros de determinação do número de grupos e do parâmetro de incerteza ideais

r	K	F_c	$(1 - F_c)$	H_c
1,25	3	0,9273	0,0727	0,1266
	4	0,9317	0,0683	0,1274
	5	0,9289	0,0711	0,1375
	6	0,9233	0,0767	0,1464
	7	0,9310	0,0690	0,1367
1,50	3	0,8350	0,1650	0,2897
	4	0,8335	0,1665	0,3176
	5	0,8291	0,1709	0,3383
	6	0,8059	0,1941	0,3925
	7	0,8128	0,1872	0,3941
1,75	3	0,7568	0,2432	0,4299
	4	0,7362	0,2638	0,5075
	5	0,7128	0,2872	0,5885
	6	0,6578	0,3422	0,7082
	7	0,6986	0,3014	0,6726
2,00	3	0,6905	0,3095	0,5459
	4	0,6515	0,3485	0,6711
	5	0,6183	0,3817	0,7835
	6	0,6035	0,3965	0,8569
	7	0,5929	0,4071	0,9223

4.7.2 Agrupamento de cheias para número de grupos (K) e parâmetro de incerteza (r) ideais obtidos

Para a simulação com número de grupos igual a 4 ($K = 4$) e parâmetro de incerteza igual a 1,25 ($r = 1,25$), para a função objetivo, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 4.32. Nesta tabela, é possível perceber que a função atingiu seu mínimo na iteração de número 18, porém, a simulação só foi interrompida na iteração 36, pois o critério de parada do algoritmo se baseia no erro máximo tolerado, igual a 10^{-5} neste trabalho, e apenas na iteração de número 36, o erro máximo calculado foi menor que a tolerância.

Ainda, a simulação gerou uma matriz de partição difusa, apresentada no Apêndice H, que definiu o agrupamento dos dados de acordo com o grau de aderência de cada evento aos grupos.

A matriz de partição difusa (Apêndice H) gerou, ainda, os grupos apresentados na Tabela 4.33.

Tabela 4.32. Minimização da função objetivo, $K = 4$ e $r = 1,25$

Iteração	F_{ob}	Iteração	F_{ob}	Iteração	F_{ob}	Iteração	F_{ob}
1	15,26	10	6,45	19	6,11	28	6,11
2	13,61	11	6,34	20	6,11	29	6,11
3	8,69	12	6,27	21	6,11	30	6,11
4	7,29	13	6,23	22	6,11	31	6,11
5	6,95	14	6,19	23	6,11	32	6,11
6	6,83	15	6,16	24	6,11	33	6,11
7	6,77	16	6,13	25	6,11	34	6,11
8	6,70	17	6,12	26	6,11	35	6,11
9	6,59	18	6,11	27	6,11	36	6,11

Tabela 4.33. Agrupamento dos dados para $K = 4$ e $r = 1,25$

Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4
1931	1962	1937	2004	1932	2000	1935
1933	1963	1939	2007	1938	2001	1957
1934	1964	1948	2008	1946	2005	1983
1936	1967	1953	2011	1947	2009	1992
1940	1968	1961	2012	1950	2010	1998
1941	1969	1965		1954	2013	2014
1942	1974	1966		1955	2015	
1943	1977	1970		1971		
1944	1978	1973		1972		
1945	1985	1975		1982		
1949	1986	1976		1984		
1951	1991	1979		1987		
1952	1994	1980		1989		
1956	2002	1981		1990		
1958	2003	1988		1993		
1959	2006	1996		1995		
1960		1999		1997		

Na Tabela 4.33 é possível perceber que o Grupo 1 contém os anos sem extravasamento, exceto pelo ano de 1931. Neste ano, em específico, observou-se a

matriz de partição difusa (Apêndice H) e notou-se que o pertencimento do evento de 1931 ao grupo 1 não está bem definido, pois apresenta graus de pertinência aos grupos 1 e 2 iguais a 0,4696 e 0,4526, respectivamente, ou seja, baixos e muito próximos. Por isso, entende-se que este evento poderia ser classificado em qualquer um dos dois grupos.

Devido a isso, desenvolveu-se a Figura 4.21, a partir dos dados do Apêndice H (matriz de partição difusa). Com esta figura, identificou-se que, dentre os 85 eventos observados, houve 12 casos em que o grau de pertencimento dos eventos não estava bem definido, por apresentarem valores abaixo de 0,90. Entretanto, ainda baseado na Figura 4.21, houve apenas 3 outros casos em que o grau de pertencimento máximo aos grupos foi tão baixo quanto aquele apresentado para o ano de 1931, ou seja, inferior a 0,50.

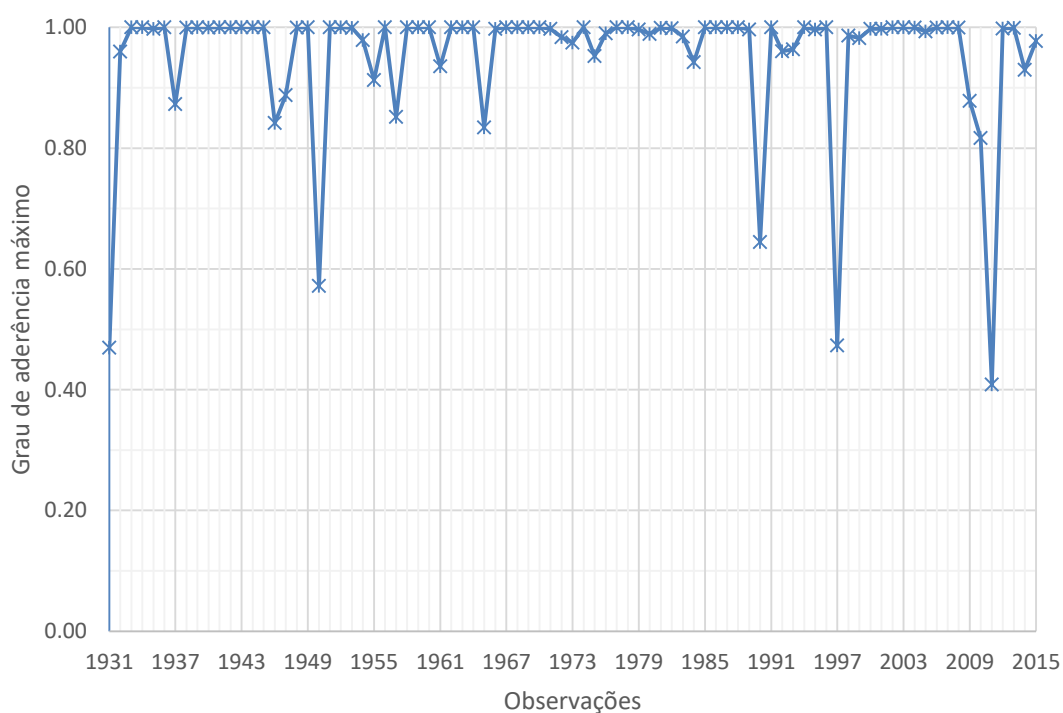


Figura 4.21. Máximos graus de aderência dos eventos aos grupos

Dessa forma, aceita-se o agrupamento gerado e apresentam-se os centros dos grupos formados. Na

Tabela 4.34, apresentam-se os valores de centroides não normalizados, portanto, com seus significados físicos e unidades de medida.

Tabela 4.34. Coordenadas não normalizadas dos centroides dos grupos, para $K = 4$ e $r = 1,25$

	I_1 (m³/s)	I_2 (m)	I_3 (km³)	I_4 (dias)	I_5 (dias)	I_6 (m³/s/dia)	I_7 (m³/s/dia)
Centróide 1	1035,0	4,2	0,0	0,1	0,2	2,3	0,5
Centróide 2	1657,9	5,4	0,3	12,9	23,6	59,5	32,9
Centróide 3	2165,3	6,3	1,0	25,8	12,0	135,2	74,7
Centróide 4	3463,4	8,2	4,5	54,3	19,1	88,4	106,9

O centróide 1, como pode ser observado na Tabela 4.30, representa o centro do grupo 1, grupo de eventos sem extravasamento e identificado pelos valores mais baixos dos indicadores.

Para os demais grupos, entretanto, nota-se que para os indicadores vazão máxima (I_1) nível de água máximo (I_2), volume extravasado (I_3), tempo de permanência acima do limiar de extravasamento (I_4) e taxa média de recessão do hidrograma de cheia (I_7) houve uma sequência no aumento dos parâmetros entre os grupos. Isto é, o grupo 4 apresentou valores mais altos que o grupo 3, que, por sua vez, apresentou valores maiores que o grupo 2. Porém, para os outros dois indicadores (tempo decorrido entre o início da cheia e a ultrapassagem do limiar de extravasamento – I_5 – e taxa média de subida do hidrograma de cheia – I_6) esta sequência não está bem definida.

Esta variação entre os valores das coordenadas dos centroides formados pode ser melhor observada através da Tabela 4.35, com valores normalizados dos centroides, que permite uma representação gráfica de fácil visualização para esta variação dos indicadores entre os grupos, apresentada na Figura 4.22.

É importante ressaltar que as variáveis *tempo decorrido entre o início da cheia e a ultrapassagem do limiar de extravasamento* (I_5) e *taxa média de recessão do hidrograma de cheia* (I_7) representam grandezas inversamente proporcionais, ou seja, quanto menores seus valores, mais críticos os eventos, ao contrário dos demais indicadores de cheia. Porém, nas análises realizadas, quando os eventos não apresentaram extravasamento, estas variáveis tiveram valor atribuído igual a zero, fazendo com que o resultado das coordenadas I_5 e I_7 do centróide do grupo 1 se também aproximasse de zero, mesmo que o zero representasse, fisicamente, um evento catastrófico. Isto poderia ser solucionado através da aplicação de um complemento de 1 no pré-tratamento dos dados (no processo de normalização),

entretanto, isto não afetaria o resultado da formação dos grupos, por isso não houve a aplicação desta técnica no presente trabalho.

Ainda, diante do comportamento das coordenadas dos centroides, apresentado na Tabela 4.35 e representados na Figura 4.22, adotou-se como critério de severidade dos eventos, do mais severo para o menos severo, a seguinte ordem: grupo 4, grupo 3, grupo 2 e grupo 1. Os grupos foram nomeados de acordo com seus níveis de severidade da seguinte forma:

- a) Grupo 1: severidade baixa;
- b) Grupo 2: severidade média;
- c) Grupo 3: severidade alta;
- d) Grupo 4: desastres ou catástrofes.

A Figura 4.23 representa os níveis de severidade dos grupos, bem como, os eventos que a eles pertencem. A linha vertical apresentada na Figura 4.23 representa o ano de 1970 e divide o período de 1931 a 2015 em dois.

Tabela 4.35. Valores normalizados dos centroides dos grupos, para $K = 4$ e $r = 1,25$

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
Centróide 1	0,1018	0,1552	0,0001	0,0010	0,0026	0,0046	0,0025
Centróide 2	0,2375	0,3273	0,0259	0,1447	0,4041	0,1166	0,1737
Centróide 3	0,3481	0,4471	0,1032	0,2905	0,2048	0,2647	0,3952
Centróide 4	0,6310	0,7059	0,4628	0,6102	0,3271	0,1730	0,5655

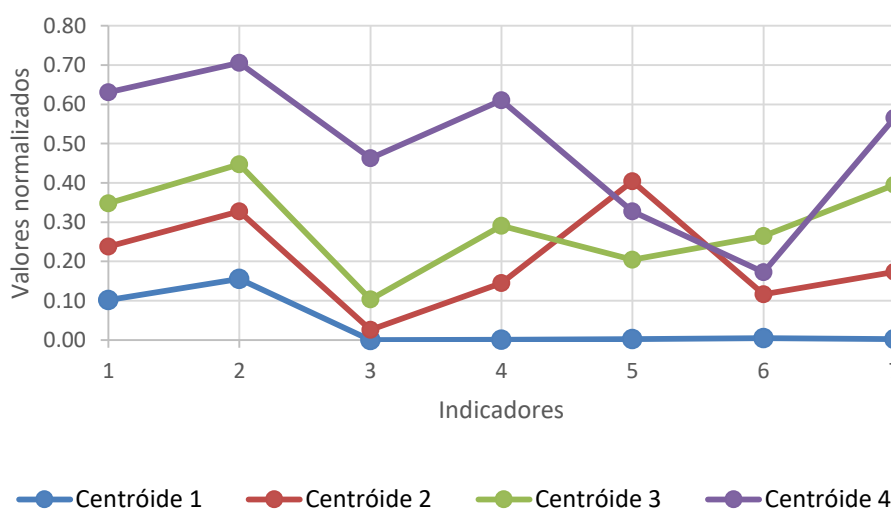


Figura 4.22. Variação das coordenadas dos centroides gerados no agrupamento, para $K = 4$ e $r = 1,25$

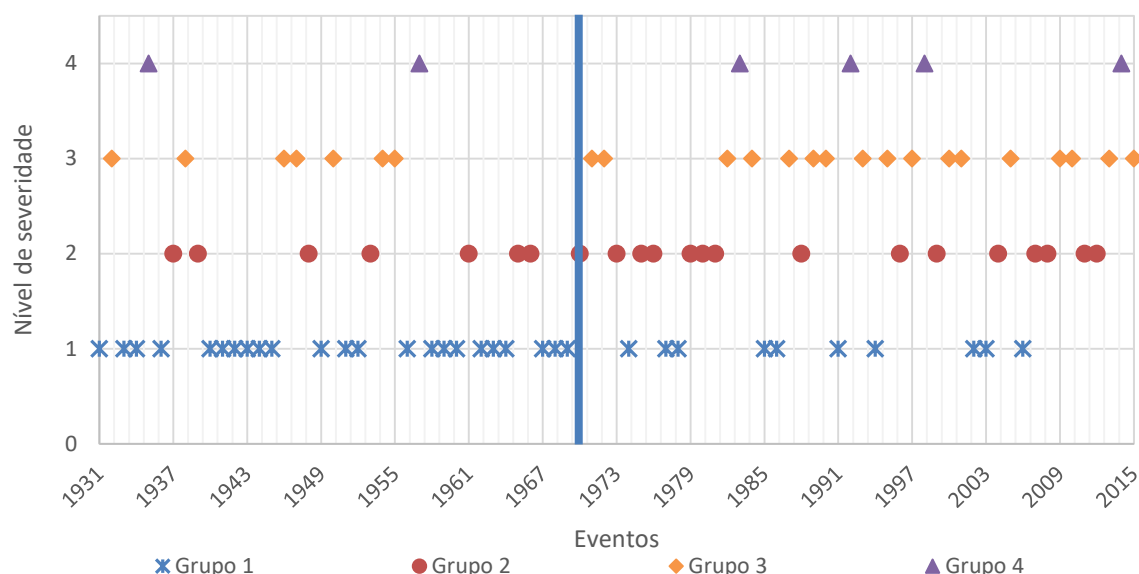


Figura 4.23. Níveis de severidade dos grupos obtidos a partir do método *fuzzy c-means*

Além dos eventos mais severos (grupos de severidade média e alta, e catástrofes, ou grupos 2, 3 e 4, respectivamente) representarem o maior número de ocorrências na série de dados trabalhada, nota-se, a partir da Figura 4.23, que depois do ano de 1970, houve uma queda na frequência de ocorrência de eventos de severidade baixa (grupo 1), ou seja: de 1931 até 1970 (período de 40 anos), houve a ocorrência de 23 eventos de severidade baixa (grupo 1) e 17 eventos de severidade média ou alta, ou uma catástrofe; a partir de 1971, até o final da série de dados (ano de 2015), entretanto, houve 10 eventos pertencentes ao grupo de severidade baixa (grupo 1) e 35 eventos pertencentes aos demais grupos, de severidade mais acentuada. Isto representa, num todo, que nos últimos anos a população em União da Vitória tem sofrido com maior frequência as consequências das inundações, gerando ainda mais preocupações com o reservatório da Usina Hidrelétrica de Foz do Areia.

Observando ainda a Figura 4.23, percebe-se que, além do maior número de ocorrência de eventos com extravasamento após o ano de 1970, as maiores catástrofes (grupo 4) historicamente observadas na região de estudo ocorreram neste período, tornando-se mais frequentes do que aquelas ocorridas até o ano de 1970. O grupo de severidade alta (grupo 3), por sua vez, também apresentou um aumento na frequência de acontecimentos no mesmo período (após 1970), da mesma forma que o grupo de média severidade (grupo 2).

Este aumento dos acontecimentos de eventos de severidade mais acentuada representa consequências mais graves para a população da região em estudo no presente trabalho, e conhecer, portanto, as características destes eventos, de acordo com o grupo ao qual pertencem, pode contribuir com a adoção de medidas preventivas, evitando assim, impactos tão preocupantes como aqueles notados nas cheias de 1983, 1992 e 2014, por exemplo.

4.8 ANÁLISE DOS INDICADORES DE CHEIAS DE ACORDO COM O AGRUPAMENTO DE CHEIAS

Determinado o agrupamento a partir do método *fuzzy c-means*, foi analisado o comportamento dos sete indicadores utilizados (*vazão – I_1 e nível de água – I_2 máximos, volume total extravasado – I_3 , tempo acima do limiar de extravasamento – I_4 , tempo entre início e ultrapassagem do limiar de extravasamento – I_5 , e taxas médias de ascensão – I_6 e recessão – I_7 do hidrograma de cheia*) nos grupos formados.

A vazão máxima, primeira variável analisada, diante dos 4 grupos formados, foi subdividida de acordo com a Figura 4.24. Nesta figura é possível observar as vazões máximas assumem o mesmo comportamento apresentado na Figura 4.23, ou seja, o grupo 1, que contém o conjunto de eventos sem extravasamento (exceto pelo ano de 1931), possui vazões mais baixas, indicando um nível de severidade baixo, enquanto que o grupo oposto, o grupo 4, apresenta eventos com vazões máximas extremas, identificando uma severidade maior. Na Figura 4.24, também é possível perceber que o comportamento das vazões de um mesmo grupo mantêm-se quase horizontal, exceto pelos eventos do grupo 4, que, naturalmente, já compõem fenômenos atípicos.

Este comportamento encontrado para as vazões pode ser observado também para os níveis de água máximos, uma vez que estes indicadores se relacionam através da curva de descarga. A Figura 4.25 apresenta a subdivisão dos níveis de água máximos a partir dos grupos formados depois da aplicação do método *fuzzy c-means*.

A partir daqui, para simplificação, ao se tratar do grupo 1, é considerado apenas o evento de 1931, uma vez que os demais eventos deste grupo não

apresentam valores numéricos para as próximas variáveis apresentadas, já que não atingem o limiar de extravasamento.

A terceira variável analisada é o volume total extravasado (I_3), cuja subdivisão é apresentada na Figura 4.26. Percebe-se, comparando-se as Figuras 4.24 e 4.26, que quanto maior a vazão, maior o volume extravasado, uma vez que o volume extravasado é função do tempo da enchente e da vazão escoada, e, por isso, os volumes extravasados do grupo 4, originados das vazões máximas extremas, são sempre maiores que os volumes dos demais grupos.

Diferentemente das três variáveis já apresentadas (*vazão – I_1 e nível de água – I_2 máximos, volume total extravasado – I_3*), o tempo acima do limiar de extravasamento não segue o mesmo comportamento. A Figura 4.27 apresenta a subdivisão gerada pelo método *fuzzy c-means* dos tempos que os eventos permaneceram acima do limiar de extravasamento.

Através desta figura é possível perceber que apesar da ocorrência de vazões atípicas, como aquelas presentes no grupo 4, observadas na Figura 4.24, em alguns casos, os eventos apresentaram menor tempo de permanência na situação crítica, enquanto que em outras situações, como no grupo 2, apesar das vazões mais baixas, a condição crítica foi mantida por um período mais longo.

Na Figura 4.27 é possível verificar que, para alguns eventos, pertencentes à grupos diferentes (grupos 2, 3 ou 4) o tempo de permanência dos níveis de água acima do limiar de extravasamento se aproximam consideravelmente, como acontece com os anos de 1981 (grupo 2), 2010 (grupo 3) e 2014 (grupo 4), que se mantiveram na condição crítica por, aproximadamente 25 dias.

Já para os tempos decorridos entre o início dos eventos e a ultrapassagem do limiar de extravasamento (I_5), cuja subdivisão é apresentada na Figura 4.28, não foi possível encontrar um comportamento padrão. Porém, o grupo 2, grupo de severidade média, apresentou, em geral, os maiores tempos decorridos até que se atingisse o limiar de extravasamento, corroborando com a classificação destes eventos em um grupo de severidade mais baixa, uma vez que os fenômenos levaram maior tempo para que gerassem um problema para a sociedade.

De forma similar ao ocorrido na variável anterior (tempo decorrido entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento – I_5), considerando a variável *taxa de subida do hidrograma de cheia* (I_6), não houve um comportamento estável entre os eventos dentro dos grupos, conforme apresentado na Figura 4.29,

principalmente para os grupos 3 e 4. O grupo 2, entretanto, como mostra a figura, apresentou taxas médias de subida menores, corroborando com um nível de severidade mais baixo dos eventos.

Por fim, para as taxas médias de recessão dos hidrogramas de cheia (I_7), conforme mostra a Figura 4.30, os eventos do grupo 2, de menor severidade que os grupos 3 e 4, apresentou taxas médias de recessão dos hidrogramas de cheia (I_7) menores que os demais grupos, representando, sob o ponto de vista deste indicador, maior problema para a sociedade, uma vez que quanto menor a taxa de recessão (I_7), maior o tempo de exposição à situação crítica.

Nesta figura ainda é possível perceber que os eventos do grupo 4, com vazões maiores, também tiveram as maiores taxas médias de recessão dos hidrogramas de cheia (I_7), simbolizando menor gravidade.

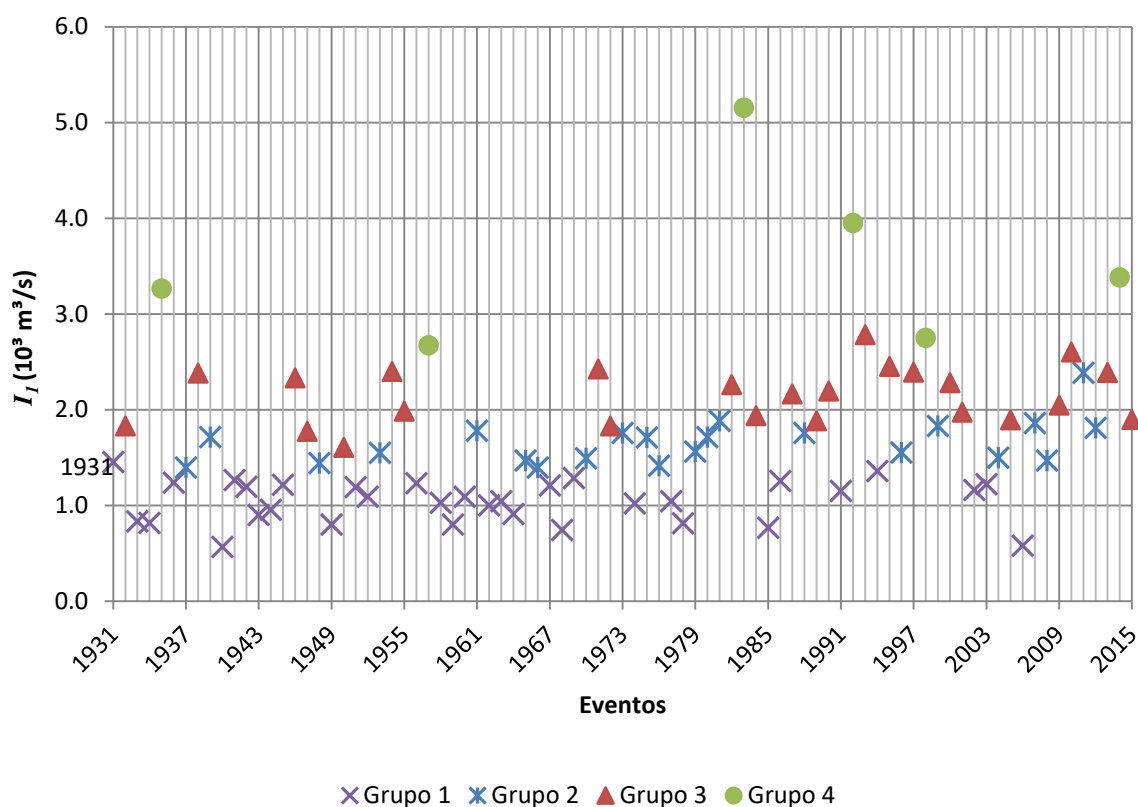


Figura 4.24. Subdivisão da vazão máxima a partir do grupos formados

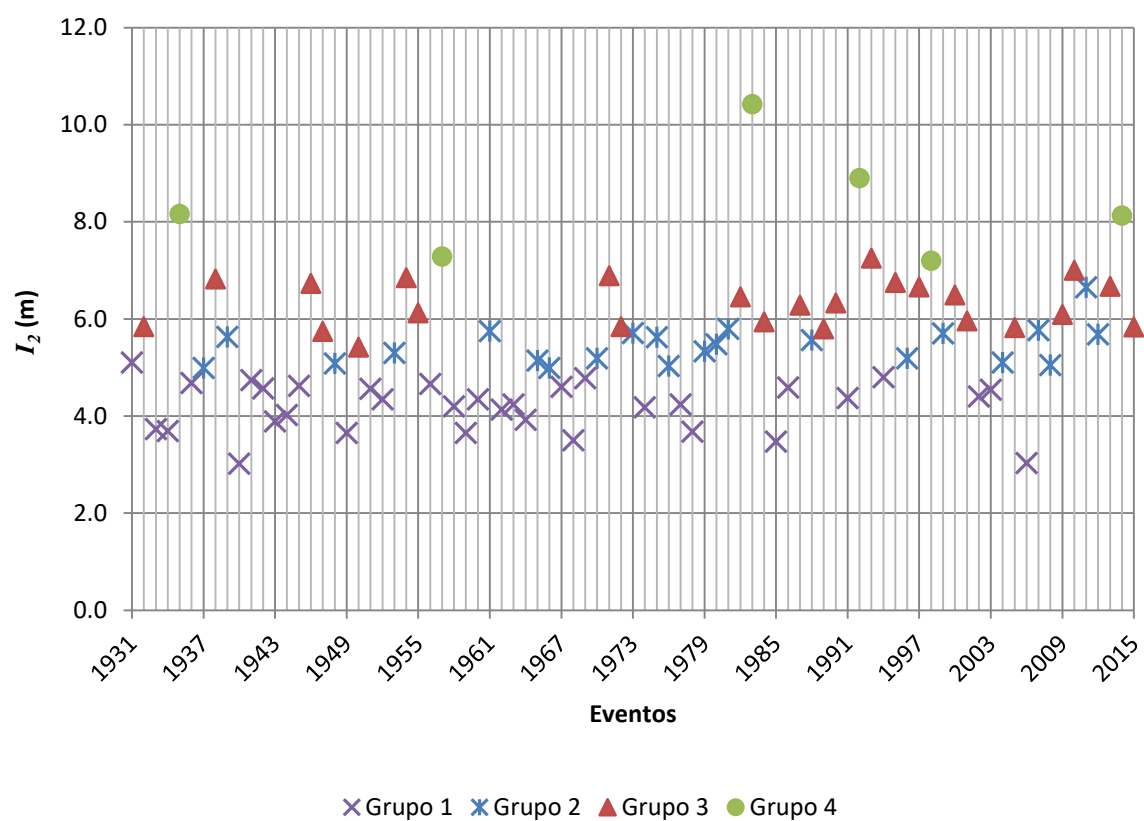


Figura 4.25. Subdivisão dos níveis de água máximos a partir do grupos formados

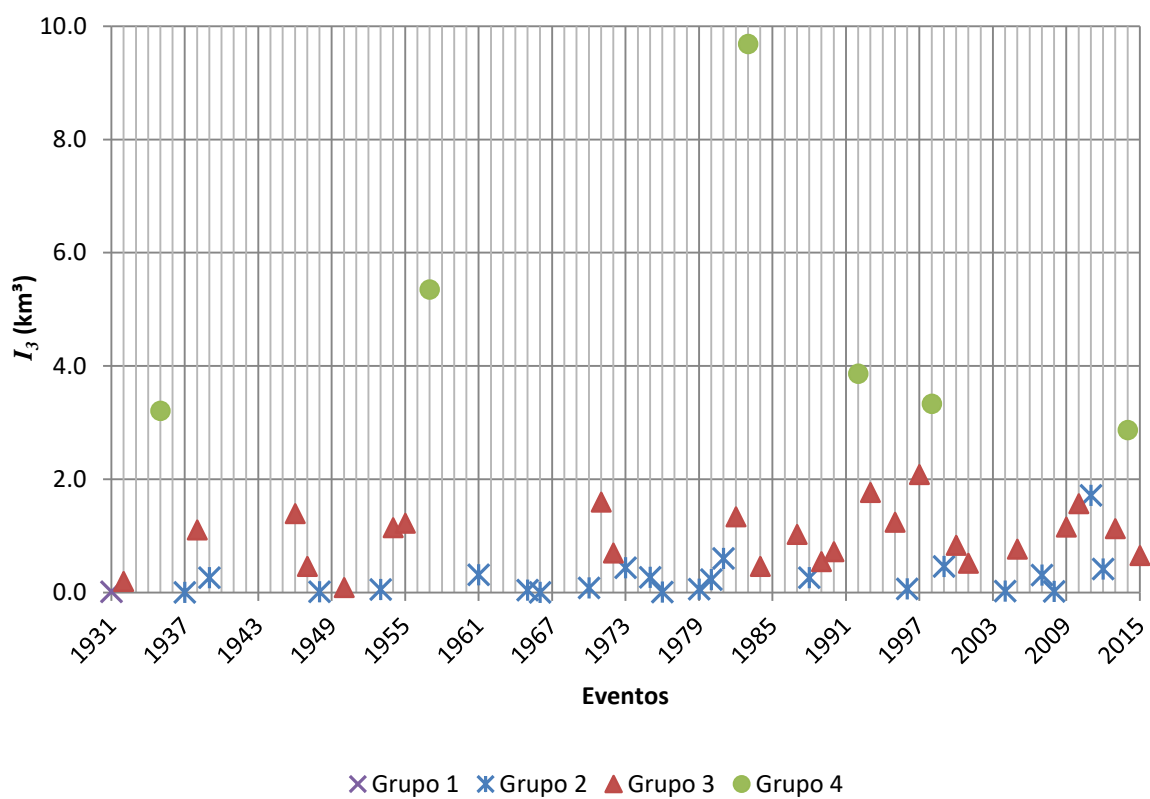


Figura 4.26. Subdivisão dos volumes totais extravasados a partir do grupos formados

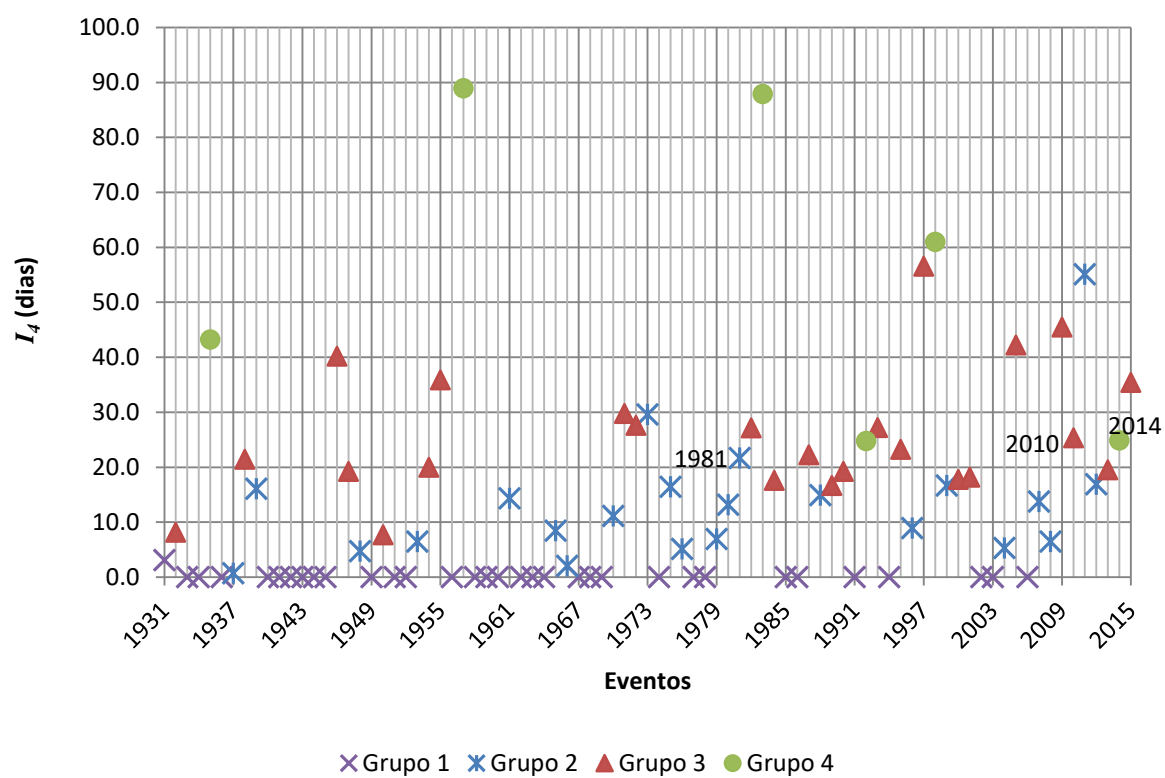


Figura 4.27. Subdivisão do tempo acima do limiar de extravasamento a partir dos grupos formados

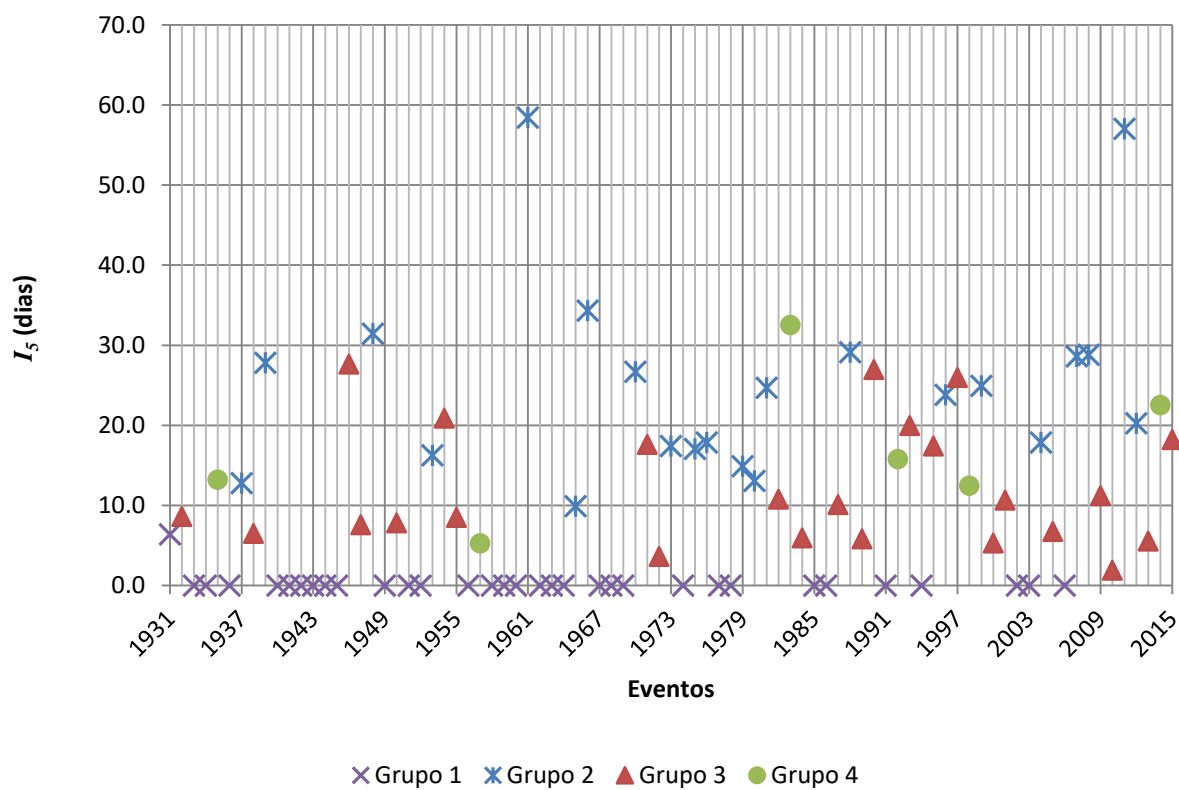


Figura 4.28. Subdivisão do tempo decorrido entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento

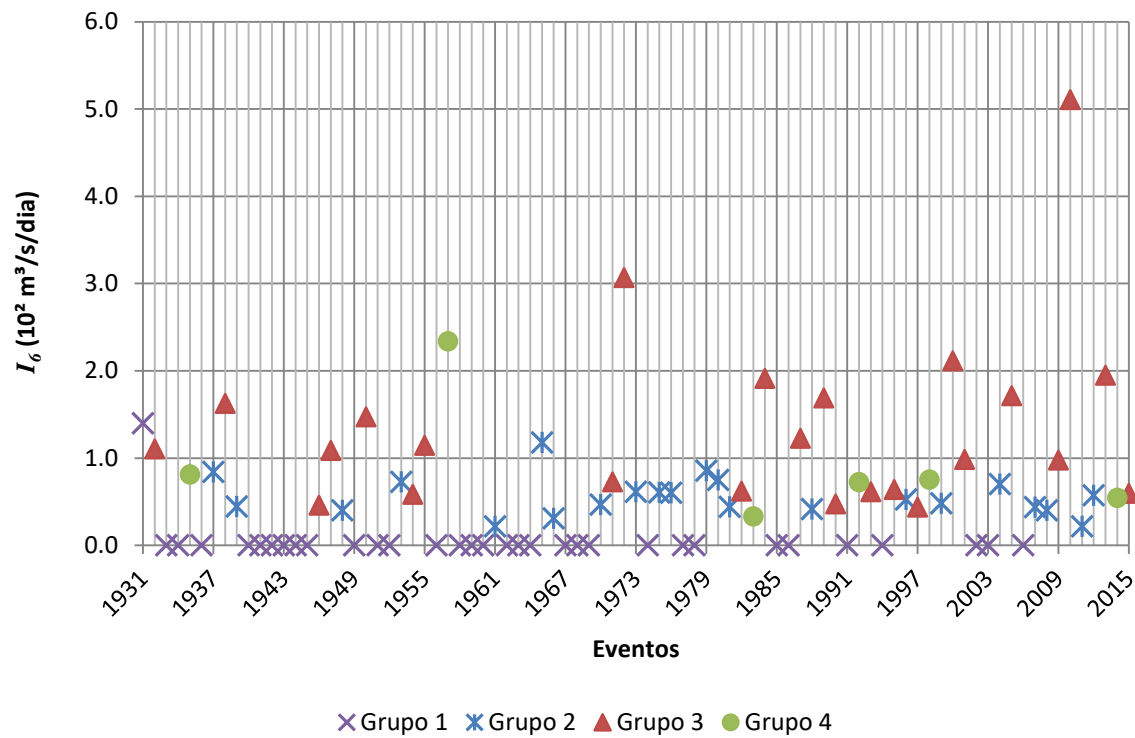


Figura 4.29. Subdivisão de taxa média de subida do hidrograma de cheia a partir dos grupos formados

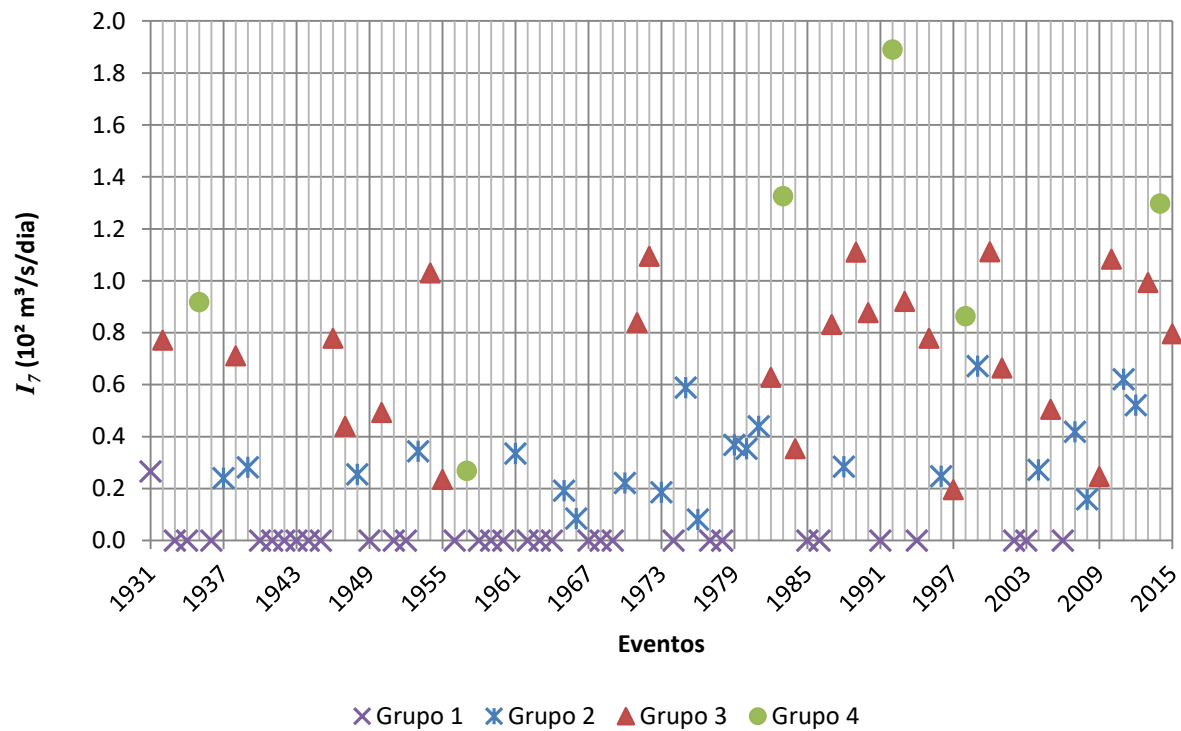


Figura 4.30. Subdivisão de taxa média de recessão de cheia a partir dos grupos formados

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os estudos de cheias têm se tornado primordiais para a sociedade, pois estes fenômenos representam os desastres de maior número de ocorrência e maiores impactos para a sociedade. Isto pode ser observado, inclusive, na cidade de União da Vitória, objeto de estudo deste trabalho.

A partir dos resultados obtidos, é possível perceber, inicialmente, que o número de ocorrências de extravasamento na estação fluviométrica União da Vitória (65310000) exige bastante atenção, uma vez que, historicamente, mais de 60% dos anos observados no período de 1931 a 2015 tiveram a ocorrência de extravasamento em algum período do ano.

Diante da necessidade em se conhecer os fenômenos atípicos cada vez mais frequentes no Brasil e no mundo, o presente estudo tem como um de seus objetivos adotar uma nova abordagem para os estudos de cheia a serem realizados: a utilização da estatística multivariada, a partir da definição de indicadores de severidade de eventos. Para isso, foram utilizados como indicadores de cheia as seguintes variáveis: vazão (I_1) e nível de água (I_2) máximos, volume total extravasado (I_3), tempo acima do limiar de extravasamento (I_4), tempo entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento (I_5) e taxas médias de ascensão (I_6) e recessão (I_7) do hidrograma de cheia.

Através destes indicadores, obteve-se uma nova classificação, com alterações significativas, para os maiores eventos de cheias ocorridos em União da Vitória. A grande alteração foi notada no evento de 1983, maior cheia história do rio Iguaçu na região de União da Vitória. Neste ano, com base nos dados de vazão e nível de água, a cheia de 1983 foi, significativamente, a mais catastrófica. Porém, sob o ponto de vista da abordagem adotada neste trabalho (utilização de novos indicadores de cheia), a cheia do ano de 1983 não foi a ocorrência mais desastrosa na maioria dos indicadores avaliados: tempo acima do limiar de extravasamento (I_4), tempo entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar de extravasamento (I_5) e taxas médias de ascensão (I_6) e recessão (I_7) do hidrograma de cheia.

Ao se aplicar a estatística multivariada aos sete indicadores selecionados (vazão (I_1) e nível de água (I_2) máximos, volume total extravasado (I_3), tempo acima do limiar de extravasamento (I_4), tempo entre o início do evento e a ultrapassagem do

limiar de extravasamento (I_5) e taxas médias de ascensão (I_6) e recessão (I_7) do hidrograma de cheia), realizou-se uma análise de agrupamento de dados através do algoritmo *fuzzy c-means*, que, considerando concomitantemente todos os indicadores acima mencionados, classificou os eventos do ano de 1931 a 2015 em quatro grupos, com diferentes níveis de severidade.

Os quatro grupos gerados foram nomeados de acordo com os níveis de severidade dos eventos aos quais pertencem. Os grupos formados são: grupos de baixa, média e alta severidade, e grupo de eventos catastróficos. O grupo de baixa severidade é composto, basicamente, pelos eventos sem extravasamento, enquanto que o grupo de eventos catastróficos representa o outro extremo, caracterizado pelas cheias históricas causadoras de danos, muitas vezes irreparáveis ao município de União da Vitória.

Diante desta classificação, notou-se que, a partir do ano de 1970, a frequência de eventos mais severos (grupos 2, 3 e 4) tornou-se maior, enquanto que os eventos sem extravasamento (grupo 1) tornaram-se mais raros, ao contrário do que ocorria no período anterior (de 1931 a 1969), quando os eventos sem extravasamento (grupo 1) eram mais frequentes. Esta alteração notada a partir de 1970, pode ser explicada, entre outros fatores, pelas mudanças observadas na sociedade nos últimos anos, relacionadas à urbanização, principalmente, aumentando o escoamento superficial e, portanto, elevando os níveis dos rios.

Vale ressaltar que, tratando-se de uma análise de agrupamento de cheias, para uma melhor determinação dos grupos e identificação das características intrínsecas aos eventos de cheia, é necessário estudar os eventos históricos observados e o local de aplicação do método para que se possa definir os indicadores de severidade de cheia que melhor representem os fenômenos estudados. Como exemplo de outros indicadores de cheia, podem ser citados: o volume escoado em 24h, 48h, ou outros intervalos de tempo que estejam de acordo com a bacia hidrográfica estudada e o tempo de duração dos seus eventos, o tempo decorrido até que se atinja o pico ou o tempo total para recessão do hidrograma de cheia.

Além disso, buscando uma melhora para esta análise de agrupamento de cheias, pode-se optar pela utilização de todos os eventos de cheia com extravasamento ocorridos em União da Vitória, divergindo do que comumente se aplica em análise de frequência de cheias e também aplicado neste trabalho: utilização da máxima cheia anual. Ou seja, sabendo-se que em alguns anos da série

de dados trabalhada (de 1931 a 2015) houve a ocorrência de mais de um evento de cheia com extravasamento, sugere-se considerar não apenas os maiores eventos anuais da série de dados, mas sim, todos os eventos com extravasamento.

Ainda, é importante salientar que o método de agrupamento adotado (*fuzzy c-means*) exige uma série de fatores que poderiam ser analisados para que os resultados fossem aprimorados, constituindo recomendações do trabalho.

Inicialmente, poderiam ser estudados processos de determinação da matriz de partição difusa inicial, para que possa ser dispensada a sua geração aleatória, pois, apesar da aleatoriedade da matriz de partição difusa inicial não produzir resultados com divergências significativas de uma simulação para outra, diferentes processos de estimação da matriz inicial facilitariam a reprodução dos resultados a quem interessasse. Outro aspecto possível de ser analisado e que poderia produzir resultados distintos, é o método de pré-tratamento dos dados, aplicado a fim de eliminar as diferenças físicas e, conseqüentemente, de unidades de medida dos indicadores adotados.

Além disso, na obtenção dos agrupamentos, outro fator relevante é a determinação do número de grupos a ser adotado para execução do método *fuzzy c-means*. A primeira alternativa, mas muito dispendiosa, é a avaliação da matriz de partição difusa obtida ao final do processo, para cada número de grupos possível de ser utilizado, onde se verifica qual das simulações apresentou maior estabilidade da matriz de partição difusa final, bem como a proximidade dos máximos graus de pertinência aos grupos ao valor unitário. Também, poderiam ser estabelecidos critérios métricos, baseados no cálculo de parâmetros, diferentes daqueles aplicados no presente trabalho, através dos máximos graus de pertinência dos dados da amostra aos grupos, analisando-se uma possível tendência para estes valores.

Ainda, buscando-se eliminar incertezas (físicas, inerentes aos estudos hidrológicos, e estatísticas, diante do algoritmo *fuzzy c-means*), outros tipos de análises poderiam ser realizadas. Um exemplo é a avaliação do parâmetro de incerteza do método (r), que, até então, desconhece-se sua relação com as características físicas da região de estudo, mas que podem sofrer influência do tamanho e da forma da bacia hidrográfica, por exemplo. Portanto, sugere-se, como uma aplicação futura, o estudo da relação dos parâmetros estatísticos do algoritmo *fuzzy c-means* com as características físicas da área de estudo.

Contudo, também poderiam ser estudados diferentes métodos de agrupamento, além do algoritmo *fuzzy c-means*, mais simples ou mais sofisticados, que melhor se adequassem aos dados hidrológicos, comparando um ao outro e verificando a sua viabilidade de aplicação.

Ainda, trabalhos futuros poderiam aplicar os resultados obtidos nesta dissertação de mestrado (os grupos de eventos formados), a fim de contribuir com o processo de previsão, em tempo real, de inundações no município de União da Vitória, estudando-se os mecanismos de formação das cheias de cada grupo e permitindo as ações necessárias antes da ocorrência de uma catástrofe.

Isto, além de propiciar uma diminuição nas consequências dos desastres naturais, a partir da tomada de decisão no tempo correto, também pode ser bastante interessante para os operadores de reservatórios. A Companhia Paranaense de Energia poderia, por exemplo, aprimorar as regras de operação do reservatório da Usina Hidrelétrica de Foz do Areia, utilizando-se de padrões capazes de distinguir o comportamento de um evento em tempo real, identificáveis a partir dos grupos obtidos com este trabalho, pois, uma vez que o reservatório de Foz do Areia já foi acusado pela população em União da Vitória de ser o principal causador do evento mais catastrófico ocorrido, a cheia de 1983, é de interesse da COPEL que os riscos de cheias nesta região sejam diminuídos.

Por fim, outra sugestão é a aplicação deste agrupamento às estações fluviométricas a montante na bacia hidrográfica, a fim de verificar o nível de relação dos pontos a montante nas inundações recorrentes em União da Vitória.

Diante disso, percebe-se que o presente estudo foi capaz de identificar grupos de eventos de cheia, bem como ressaltar suas características geradoras, a fim de contribuir com o aprimoramento dos estudos de cheias que podem reduzir significativamente os danos gerados por este tipo de desastre natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUAS PARANÁ – INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br>>. Acesso em: 19 jul. 2016.

AMRHEIN, M.; SRINIVASAN, B.; BONVIN, D.; SCHUMACHER, M. M. On the rank deficiency and rank augmentation of the spectral measurement matrix. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 33, n. 1, p. 17-33, jul./ago. 1996.

BARBAT, A. H.; CARREÑO, M. L. **Análisis de riesgo urbano utilizando indicadores: aplicación demostrativa para la ciudad de Bogotá, Colombia. Ejecución del componente II, Indicadores para la gestión de riesgos, Operación ATN/JF-7907-RG**. Manizales: Instituto De Estudios Ambientales – Idea de da Universidad Nacional de Colômbia, Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, CEPAL, 2004. Relatório Técnico.

BERKHIN, P. **Survey of clustering data mining techniques**. San Jose, California, 2002.

BEZDEK, J. C.; EHRLICH, R.; FULL, W. FCM: the fuzzy c-means clustering algorithm. **Computers & Geosciences**, v. 10, n. 2/3, p. 191-203, mai.1982/mai.1983.

BONATTI, R. A. **Desenvolvimento de modelo para a gestão de sistemas de trânsito em situações de contingência e emergência**. 172 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES, INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Organizado por: CELSO SANTOS CARVALHO, EDUARDO SOARES DE MACEDO E AGOSTINHO TADASHI OGURA. BRASÍLIA. 2007.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jan. 1997.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 5 jan. 2007.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 dez. 2009.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 ago. 2010.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 abr. 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – MIN. Instrução normativa nº 1, de 24 de agosto de 2012.

BURN, D. H.; GOEL, N. K. The formation of groups for regional flood frequency analysis. **Hydrological Sciences Journal**, v. 45, n. 1, p. 97-112, fev. 2000.

CAMARGO CORREA, C. M.; LEVASSEUR, J.; MANTOVANI, L. E. **Relatório avaliação das áreas atingidas pelas inundações e alagamentos em União da Vitória/PR, em junho de 2014**. Curitiba: CENACID – Centro de Apoio Científico em Desastres da UFPR, 2014. Relatório Técnico.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos. 2014.

CASTANHARO, G.; BUBA, H. Revisão do comportamento hidráulico do rio Iguaçu na região de União da Vitória e seu impacto na operação hidráulica dos reservatórios de Foz do Areia e Segredo. **Revista: Espaço Energia**, n. 8, p. 28-38, abr.2008.

CASTANHARO, G.; SCREMIN, H. L.; PEREIRA, C. L.; SILVA, R. C. DA; BAZAN, H. W. **Projeto HG-203 – Análise hidráulica de alternativas para controle de enchentes no rio Iguaçu e União da Vitória/Porto União**. Curitiba: CEHPAR – Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. 2005. Relatório Técnico.

CASTILHO, A. S.; PINTO, E. J. DE A.; OLIVEIRA, G. S. R. Utilização de modelo hidráulico associado a um SIG para a definição de áreas inundáveis na cidade de Governador Valadares, Minas Gerais. **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH: João Pessoa, 2005.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério Da Integração Nacional, 2003.

CHANG, L. C.; SHEN, H. Y.; WANG, Y. F.; HUANG, J. Y.; LIN, Y. T. Clustering-based hybrid inundation model for forecasting flood inundation depths. **Journal of Hydrology**. v. 385, p. 257-268, fev. 2010.

CHEBANA, F.; OUARDA, T. B. M. J.; DUONG, T. C. Testing for multivariate trends in hydrologic frequency analysis. **Journal of Hydrology**, v. 486, p. 519-530, jan. 2013.

CHEN, X.; WANG, L. Flood feature identification and clustering in Wujiang river, South China. **XIX International Conference on Water Resources**. 2012.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. McGraw-Hill Publishing Company, 1988.

DUTRA, W. D. **Aplicação de máquinas de vetor suporte na Avaliação da confiabilidade de sistemas de geração e transmissão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Minas Gerais, 2011.

EM-DAT – EMERGENCY DISASTERS DATA BASE. Disponível em: <<http://www.emdat.be>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

FREITAS, C. M.; XIMENES, E. F. Enchentes e saúde pública – uma questão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1601-1615, jun./2012.

GIBERTONI, R. F. C. **Regionalização de parâmetros hidrológicos utilizando análise difusa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Tradução: Adonai Schlup Sant'Anna. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HALL, J.; MINNS, A. W. The classification of hydrologically homogeneous regions. **Hydrological Science Journal**, Wallingford, v. 44, n. 5, out. 1999.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>>. Acesso em: 30 nov. 2015.

JAIN, A. K.; DUBES, R. C. **Algorithms for clustering data**. Michigan State University, 1988.

JICA – JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. **The Itajaí River basin flood control project, Part I, Master plan study**. 1988.

JINGYUI, Z.; HALL, M. J. Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming River basin in China. **Journal of Hydrology**, v. 296, n. 1/4, p.98-117, ago. 2004.

JONKMAN, S. N.; BOCKARJOVA, M.; KOK, M.; BERNARDINI, P. Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood. **Ecological Economics**. v. 66, n. 1, p. 77-90, fev. 2008.

JOHNSON, R. A; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 2007.

KAUFMAN, L.; ROUSSEEUW, P. J. **Clustering large data sets**. Pattern Recognition in practice II. 1986.

KAVISKI, E. **Métodos de regionalização de eventos e parâmetros hidrológicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza (CEHPAR). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. DE O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLER, G. S. F.; RUDORFF, F. DE M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Editora Organic Trading, 2006.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. Quantitative method to distinguish flood and flash flood as disasters. **SUISUI Hydrological Research Letters**. v. 1, p. 11-14, out. 2007.

KOHONEN, T. **Self-Organizing Maps**. Berlin: Springer, 1997.

LAMPINEN, J.; OJA, E. Clustering properties of hierarchical self-organizing maps. **Journal of Mathematical Imaging and Vision**, v. 2, n. 2/3, p. 261–272, nov. 1992.

LATTIN, J.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

LIN, G-F.; CHEN, L-H. A non-linear rainfall-runoff model using radial basis function network. **Journal of Hydrology**, v. 289, p. 1-8, 2004.

LINDEN, R. Técnicas de agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, n. 4, p. 18-36, 2009.

LORENA, A. C.; CARVALHO, A. C. P. L. F. DE. **Introdução às Máquinas de Vetores Suporte**. São Paulo. 2003. Relatório Técnico.

MACHADO, M. L.; NASCIMENTO, N.; BAPTISTA, M.; GONÇALVES, M.; SILVA, A.; LIMA, J. C. DE; DIAS, R.; SILVA, A.; MACHADO, E.; FERNANDES, W. Curvas de danos de inundação *versus* profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia. **REGA – Revista De Gestão De Água Da América Latina**, v. 2, n. 1, p. 35-52, jan./jun. 2005.

MESSNER, F.; PENNING-ROWSELL, E.; GREEN, C.; MEYER, V.; TUNSTALL, S.; VEEN, A. V. D. **T09-06-01 – Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods**. Wallingford: FLOODsite, 2006. Relatório Técnico.

MINE, M. R. M.; TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da produção de energia e controle de inundação, Foz do Areia no rio Iguaçu. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 3, p. 85-107, jul./set. 2002.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MONTEIRO, L. R.; KOBIYAMA, M. Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundação. **REGA – Revista De Gestão De Água Da América Latina**, v. 10, n. 2, p. 13-25, jul./dez. 2013.

NEDEL, A. S.; SAUNSEN, T. Análise das inundações bruscas ocorridas na região sul do Brasil no período 1980 – 2009. **Ciência e Natura**, UFSM, v. 34, n. 1, p. 119-129, mar. 2012.

PAZ, A. R. D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de rios com grandes planícies de inundação. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH: Campo Grande, 2009.

RENCHE, A. C. **Methods of multivariate analysis**. New York: Wiley Interscience, 2002.

ROCHA, P. S. M. **Gestão em áreas de risco de enchentes: estudo de caso para União da Vitória – Paraná**. 134 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental). Universidade Positivo, Curitiba, 2012.

RODRIGUES, F. S. **Métodos de agrupamento na análise de dados em expressão gênica**. 95 f. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Setor de Ciências Exatas e de Tecnologia. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltda, 1995.

SADRI, S.; BURN, D. H. A *fuzzy c-means* approach for regionalization using a bivariate homogeneity and discordancy approach. **Journal of Hydrology**, v. 401, n. 3/4, p. 231-239, fev. 2011.

SATO-ILIC, M.; JAIN, L. C. **Innovations in fuzzy clustering**. Springer. 2006.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – SEMA. **Bacias hidrográficas do Paraná**. Organizado por: MAURI CÉSAR BARBOSA PEREIRA, JOSÉ LUIZ SCROCCARO. Curitiba. 2010.

SEGARAN, T. **Programming Collective Intelligence**. 2007.

SISTEMA DE MONITORAMENTO AGROMETEOROLÓGICO – SMA. **Classificação climática segundo Köppen**. Disponível em: <<http://fundacaoabc.org.br/>>. Acesso em: 19 nov. 2015.

SILVA, C. DA. **Apontamentos históricos de união da vitória: 1768 – 1933**. 1934.

SRINIVAS, V. V.; TRIPATHI, S.; RAO, A. R.; GOVINDARAJU, R. S. Regional flood frequency analysis by combining self-organizing feature map and fuzzy clustering. **Journal of Hydrology**, v. 348, n. 1/2, p. 148-166, jan. 2007.

TIMM, N. H. **Applied multivariate analysis**. New York: Springer. 2002.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Ed. UFRGS / ABRH, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Água doce**. Capítulo 14. Água no meio urbano. Porto alegre. 1997.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan./mar. 2002.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Porto Alegre, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, RS: Editora UFRGS/ABRH, 2012.

USACE – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Louisiana coastal protection and restoration — enclosure c: Louisiana economy and 2005 hurricane damage**. 2006. Preliminary Technical Report to Congress.

WANG, L. N.; CHEN, X. H.; SHAO, Q. X.; LI, Y. Flood indicators and their clustering features in Wujiang River, South China. **Ecological Engineering**, v. 76, p. 66-74, abr. 2014.

XAVIER, V. L. **Resolução do problema de agrupamento segundo o critério de Minimização da soma de distâncias**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Sistemas e Computação. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE. Rio de Janeiro, 2012.

APÊNDICE A – CÓDIGOS PARA CÁLCULO DOS INSTANTES DE INÍCIO E FIM DO EXTRAVASAMENTO

```

                                instantes_ini_fim_ext.m

clc
clear

Eventos = [1931; 1932; 1933; 1934; 1935; 1936; 1937; 1938; 1939; 1940; 1941;
1942; 1943; 1944; 1945; 1946; 1947; 1948; 1949; 1950; 1951; 1952; 1953; 1954;
1955; 1956; 1957; 1958; 1959; 1960; 1961; 1962; 1963; 1964; 1965; 1966; 1967;
1968; 1969; 1970; 1971; 1972; 1973; 1974; 1975; 1976; 1977; 1978; 1979; 1980;
1981; 1982; 1983; 1984; 1985; 1986; 1987; 1988; 1989; 1990; 1991; 1992; 1993;
1994; 1995; 1996; 1997; 1998; 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2005; 2006;
2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015];

Dates_ini = [];
Dates_end = [];

for j = 1:length(Eventos)
    anoTexto = num2str(Eventos(j))
    D = xlsread('Cheias', anoTexto, 'A1:A366');
    Q = xlsread('Cheias', anoTexto, 'B1:B366');
    limiar = 1387;
    d_ini = [];
    d_fim = [];
    i_ini = [];
    i_fim = [];
    k = 0;

    %cálculo início extravasamento
    for i = 1:length(D)
        if Q(i) == limiar && (Q(i - 1) < limiar)
            if (Q(i+1) > limiar)
                k = k + 1;
                d_ini(k) = D(i);
                i_ini(k) = i;
                Dates_ini(j, k) = d_ini(k)
            end
        elseif (Q(i) > limiar) && (Q(i - 1) < limiar)
            k = k + 1;
            d_ini(k) = ((D(i)-D(i-1))*(limiar - Q(i-1)))/(Q(i)-Q(i-
1)))+D(i-1)
            i_ini(k) = i;
            Dates_ini(j, k) = d_ini(k)
        end
    end

    %cálculo fim extravasamento
    k = 0;
    for i = i_ini:length(D)
        if (Q(i) == limiar) && (Q(i - 1) > limiar)
            k = k + 1;
            d_fim(k) = D(i);
            i_fim(k) = i;
            Dates_end(j, k) = d_fim(k)
        elseif (Q(i) < limiar) && (Q(i - 1) > limiar)
            k = k + 1;

```

```

        d_fim(k) = ((D(i)-D(i-1))*(limiar - Q(i-1))/(Q(i)-Q(i-1)))+D(i-
1);
        i_fim(k) = i;
        Dates_end(j, k) = d_fim(k)
    end

end

end

file_name = strcat('Instantes de extravasamento.xlsx');

I_ini = table(Eventos, Dates_ini);
sheet_name_I_ini = strcat('I_ini');
writetable(I_ini, file_name, 'Sheet', sheet_name_I_ini);

I_end = table(Eventos, Dates_end);
sheet_name_I_end = strcat('I_end');
writetable(I_end, file_name, 'Sheet', sheet_name_I_end);

```

APÊNDICE B – CÓDIGOS PARA CÁLCULO DOS INDICADORES DE CHEIA

```

                                indicador_volume_extravasado.m

clc
clear

Eventos = [1931; 1932; 1933; 1934; 1935; 1936; 1937; 1938; 1939; 1940; 1941;
1942; 1943; 1944; 1945; 1946; 1947; 1948; 1949; 1950; 1951; 1952; 1953; 1954;
1955; 1956; 1957; 1958; 1959; 1960; 1961; 1962; 1963; 1964; 1965; 1966; 1967;
1968; 1969; 1970; 1971; 1972; 1973; 1974; 1975; 1976; 1977; 1978; 1979; 1980;
1981; 1982; 1983; 1984; 1985; 1986; 1987; 1988; 1989; 1990; 1991; 1992; 1993;
1994; 1995; 1996; 1997; 1998; 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2005; 2006;
2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015];

volume_extravasado = zeros(length(Eventos), 1);

for j = 1:length(Eventos)
    anoTexto = num2str(Eventos(j))
    D = xlsread('Cheias_seriePV', anoTexto, 'A1:A366');
    V = xlsread('Cheias_seriePV', anoTexto, 'B1:B366');

    limiar = 1387;
    segundos = 0;
    vol = 0;

    d_ini = [];
    d_fim = [];
    i_ini = [];
    i_fim = [];

    k = 0;

    %cálculo início extravasamento
    for i = 1:length(D)
        if V(i) == limiar && (V(i - 1) < limiar)
            if (V(i+1) > limiar)
                k = k + 1;
                d_ini(k) = D(i);
                i_ini(k) = i;
            end
        elseif (V(i) > limiar) && (V(i - 1) < limiar)
            k = k + 1;
            d_ini(k) = ((D(i)-D(i-1))*(limiar - V(i-1))/(V(i)-V(i-1)))+D(i-
1);
            i_ini(k) = i;
        end
    end

    %cálculo fim extravasamento
    k = 0;
    for i = i_ini:length(D)
        if (V(i) == limiar) && (V(i - 1) > limiar)
            k = k + 1;
            d_fim(k) = D(i);
            i_fim(k) = i;
        elseif (V(i) < limiar) && (V(i - 1) > limiar)
            k = k + 1;

```



```

        d_fim(k) = ((D(i)-D(i-1))*(limiar - V(i-1))/(V(i)-V(i-1)))+D(i-
1);
        i_fim(k) = i;
    end
end

%caso o pico do hidrograma de cheia tenha vários ciclos (sobe/desce)
for k = 1:length(i_ini)
    if (V(i_ini(k)) > limiar)
        segundos = difDatas(D(i_ini(k)), d_ini(k));
        vol = vol + ((limiar - limiar) + (V(i_ini(k)) - limiar)) *
segundos/2;
    end

    for i = i_ini(k):i_fim(k) - 2
        segundos = difDatas(D(i), D(i-1));
        vol = vol + (((V(i) - limiar) + (V(i+1) - limiar)) * segundos/2);
    end

    if (V(i_fim(k)) < limiar)
        segundos = difDatas(d_fim(k), D(i_fim(k) - 1));
        vol = vol + (((V(i_fim(k) - 1) - limiar) + (limiar - limiar)) *
segundos/2);
    elseif (V(i_fim(k)) == limiar)
        segundos = difDatas(D(i_fim(k)), D(i_fim(k) - 1));
        vol = vol + (((V(i_fim(k) - 1) - limiar) + (V(i_fim(k)) - limiar))
* segundos/2);
    end

end

volume_extravariado(j,1) = vol;

end

T = table(Eventos, volume_extravariado)
writetable(T, 'I3_Volume Extravariado.xlsx');

                                indicador_tempo_acima_limiar.m

clc
clear

Eventos = [1931; 1932; 1933; 1934; 1935; 1936; 1937; 1938; 1939; 1940; 1941;
1942; 1943; 1944; 1945; 1946; 1947; 1948; 1949; 1950; 1951; 1952; 1953; 1954;
1955; 1956; 1957; 1958; 1959; 1960; 1961; 1962; 1963; 1964; 1965; 1966; 1967;
1968; 1969; 1970; 1971; 1972; 1973; 1974; 1975; 1976; 1977; 1978; 1979; 1980;
1981; 1982; 1983; 1984; 1985; 1986; 1987; 1988; 1989; 1990; 1991; 1992; 1993;
1994; 1995; 1996; 1997; 1998; 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2005; 2006;
2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015];

tempo_acima_limiar = zeros(length(Eventos), 1);

for j = 1:length(Eventos)
    anoTexto = num2str(Eventos(j))
    D = xlsread('Cheias_seriePV', anoTexto, 'A1:A366');
    V = xlsread('Cheias_seriePV', anoTexto, 'B1:B366');

    limiar = 1387;

```

```

segundos = 0;

d_ini = [];
d_fim = [];
i_ini = [];
i_fim = [];
k = 0;

tempo_acima = 0;

%cálculo início extravasamento
for i = 1:length(D)
    if V(i) == limiar & (V(i - 1) < limiar)
        if (V(i+1) > limiar)
            k = k + 1;
            d_ini(k) = D(i);
            i_ini(k) = i;
        end
    elseif (V(i) > limiar) & (V(i - 1) < limiar)
        k = k + 1;
        d_ini(k) = ((D(i)-D(i-1))*(limiar - V(i-1))/(V(i)-V(i-1)))+D(i-
1);
        i_ini(k) = i;
    end
end

%cálculo fim extravasamento
k = 0;
for i = i_ini:length(D)
    if (V(i) == limiar) & (V(i - 1) > limiar)
        k = k + 1;
        d_fim(k) = D(i);
        i_fim(k) = i;
    elseif (V(i) < limiar) & (V(i - 1) > limiar)
        k = k + 1;
        d_fim(k) = ((D(i)-D(i-1))*(limiar - V(i-1))/(V(i)-V(i-1)))+D(i-
1);
        i_fim(k) = i;
    end
end

%caso a cheia tenha vários ciclos (sobe/desce)
for k = 1:length(i_ini)
    if (V(i_ini(k)) > limiar)
        segundos = difDatas(D(i_ini(k)), d_ini(k));
        tempo_acima = segundos + tempo_acima;
    end

    for i = i_ini(k):i_fim(k) - 2
        segundos = difDatas(D(i), D(i-1));
        tempo_acima = segundos + tempo_acima;
    end

    if (V(i_fim(k)) < limiar)
        segundos = difDatas(d_fim(k), D(i_fim(k) - 1));
        tempo_acima = segundos + tempo_acima;
    elseif (V(i_fim(k)) == limiar)
        segundos = difDatas(D(i_fim(k)), D(i_fim(k) - 1));
        tempo_acima = segundos + tempo_acima;
    end
end

```

```

end

tempo_acima_limiar(j,1) = tempo_acima;
end

T = table(Eventos, tempo_acima_limiar)
writetable(T, 'I4_Tempo_Acima_Limiar.xlsx');

indicador_tempo_inicio_ultrapassagem.m
%do primeiro valor do hidrograma até a primeira ultrapassagem
clc
clear

Eventos = [1931; 1932; 1933; 1934; 1935; 1936; 1937; 1938; 1939; 1940; 1941;
1942; 1943; 1944; 1945; 1946; 1947; 1948; 1949; 1950; 1951; 1952; 1953; 1954;
1955; 1956; 1957; 1958; 1959; 1960; 1961; 1962; 1963; 1964; 1965; 1966; 1967;
1968; 1969; 1970; 1971; 1972; 1973; 1974; 1975; 1976; 1977; 1978; 1979; 1980;
1981; 1982; 1983; 1984; 1985; 1986; 1987; 1988; 1989; 1990; 1991; 1992; 1993;
1994; 1995; 1996; 1997; 1998; 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2005; 2006;
2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015];

limiar = 1387;
t_ultrap = zeros(length(Eventos), 1);

for j = 1:length(Eventos)
    anoTexto = num2str(Eventos(j))
    D = xlsread('Cheias_seriePV', anoTexto, 'A1:A366');
    V = xlsread('Cheias_seriePV', anoTexto, 'B1:B366');

    d_ini = zeros(length(Eventos), 1);
    i_ini = zeros(length(Eventos), 1);

    i = 0;
    segundos = 0;

    if (D == 0)
        segundos = 0;
    else
        %cálculo início extravasamento
        for i = 1:length(D)
            if V(i) == limiar && (V(i - 1) < limiar)
                if (V(i+1) > limiar)
                    d_ini= D(i);
                    i_ini = i;
                    segundos = difDatas(d_ini, D(1));
                    break
                end
            elseif (V(i) > limiar) && (V(i - 1) < limiar)
                d_ini = ((D(i)-D(i-1))*(limiar - V(i-1))/(V(i)-V(i-1)))+D(i-
1);

                i_ini = i;
                segundos = difDatas(d_ini, D(1));
                break
            end
        end
    end
end
end

```

```

        if segundos ~= 0
            t_ultrap(j, 1) = segundos;
        else
            t_ultrap(j, 1) = 0;
        end
    end

end

T = table(Eventos, t_ultrap)
writetable(T, 'I5_Tempo inicio ate ultrapassagem.xlsx');

                                indicador_taxa_subida.m

clc
clear

Eventos = [1931; 1932; 1933; 1934; 1935; 1936; 1937; 1938; 1939; 1940; 1941;
1942; 1943; 1944; 1945; 1946; 1947; 1948; 1949; 1950; 1951; 1952; 1953; 1954;
1955; 1956; 1957; 1958; 1959; 1960; 1961; 1962; 1963; 1964; 1965; 1966; 1967;
1968; 1969; 1970; 1971; 1972; 1973; 1974; 1975; 1976; 1977; 1978; 1979; 1980;
1981; 1982; 1983; 1984; 1985; 1986; 1987; 1988; 1989; 1990; 1991; 1992; 1993;
1994; 1995; 1996; 1997; 1998; 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2005; 2006;
2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015];

taxa = zeros(length(Eventos), 1);

limiar = 1387;

for j = 1:length(Eventos)
    anoTexto = num2str(Eventos(j))
    D = xlsread('Cheias_seriePV', anoTexto, 'A1:A366');
    V = xlsread('Cheias_seriePV', anoTexto, 'B1:B366');

    d_ini = zeros(length(Eventos), 1);
    i_ini = zeros(length(Eventos), 1);

    i = 0;
    segundos = 0;
    dias = 0;

    if (D == 0)
        segundos = 0;
        dias = 0;
    else
        %cálculo início extravasamento
        for i = 1:length(D)
            if V(i) == limiar && (V(i - 1) < limiar)
                if (V(i+1) > limiar)
                    d_ini = D(i);
                    i_ini = i;
                    segundos = difDatas(d_ini, D(1));
                    dias = ((segundos/60)/60)/24;
                    break
                end
            elseif (V(i) > limiar) && (V(i - 1) < limiar)
                d_ini = ((D(i)-D(i-1))*(limiar - V(i-1))/(V(i)-V(i-1)))+D(i-
1);

                i_ini = i;
                segundos = difDatas(d_ini, D(1));

```

```

        dias = ((segundos/60)/60)/24;
        break
    end
end
end

if segundos ~= 0
    taxa(j, 1) = (limiar - V(1))/(dias);
else
    taxa(j, 1) = 0;
end

end

T = table(Eventos, taxa)
writetable(T, 'I6_Taxas média subida.xlsx');

indicador_taxa_decaimento.m

%considerando a máxima taxa ocorrendo no ciclo ao qual pertence a vazão máx
clc
clear

Eventos = [1931; 1932; 1933; 1934; 1935; 1936; 1937; 1938; 1939; 1940; 1941;
1942; 1943; 1944; 1945; 1946; 1947; 1948; 1949; 1950; 1951; 1952; 1953; 1954;
1955; 1956; 1957; 1958; 1959; 1960; 1961; 1962; 1963; 1964; 1965; 1966; 1967;
1968; 1969; 1970; 1971; 1972; 1973; 1974; 1975; 1976; 1977; 1978; 1979; 1980;
1981; 1982; 1983; 1984; 1985; 1986; 1987; 1988; 1989; 1990; 1991; 1992; 1993;
1994; 1995; 1996; 1997; 1998; 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2005; 2006;
2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015];

taxaDec = zeros(length(Eventos), 1);

limiar = 1387;

for j = 1:length(Eventos)
    anoTexto = num2str(Eventos(j))
    D = xlsread('Cheias_seriePV', anoTexto, 'A1:A366');
    V = xlsread('Cheias_seriePV', anoTexto, 'B1:B366');

    d_fim = zeros(length(Eventos), 1);
    i_fim = zeros(length(Eventos), 1);

    i = 0;
    segundos = 0;
    dias = 0;

    vMax = zeros(length(Eventos), 1);
    iMax = zeros(length(Eventos), 1);
    [vMax,iMax] = max(V);

    if (D == 0)
        segundos = 0;
        dias = 0;
    else
        %cálculo fim extravasamento
        for i = iMax:length(D)
            if (V(i) == limiar) && (V(i - 1) > limiar)

```

```

        d_fim = D(i);
        i_fim = i;
        segundos = difDatas(d_fim, D(iMax));
        dias = ((segundos/60)/60)/24;
        break
    elseif (V(i) < limiar) && (V(i - 1) > limiar)
        d_fim = ((D(i)-D(i-1))*(limiar - V(i-1))/(V(i)-V(i-1)))+D(i-
1);
        i_fim = i;
        segundos = difDatas(d_fim, D(iMax));
        dias = ((segundos/60)/60)/24;
        break
    end
end
end
if dias ~= 0
    taxaDec(j, 1) = (vMax - limiar)/dias;
else
    taxaDec(j, 1) = 0;
end
end

T = table(Eventos, taxaDec)
writetable(T, 'I7_Taxas médias decaimento.xlsx');
```

APÊNDICE C – CÓDIGO DO MÉTODO *FUZZY C-MEANS*

```

                                fuzzy_c_means.m

%podem ser alterados: x, l, t;
%'c' e 'm' variam na simulação;

clc;
clear;

X = xlsread('Indicadores','normalização', 'B3:H87');

x = 7; %número de indicadores de cheia
l = 85; %número de linhas, número de eventos
t = 0.00001; %erro máximo tolerado
iter = 1000; %número máximo de iterações
file_name_param = strcat('Result_Hidro_parametros.xlsx');
f = 0;
matriz_m = zeros(1, 1);
matriz_Fo = zeros(1, 1);
matriz_Fc = zeros(1, 1);
matriz_menosFc = zeros(1, 1);
matriz_Hc = zeros(1, 1);

for m = 1.25:0.25:2.00
    file_name = strcat('Result_Hidro_m_', num2str(m), '.xlsx');
    for c = 3:7
        disp(m);
        disp(c);
        matriz_c = zeros (1, 1);
        f = f + 1;
        M(f, 1) = m;
        C(f, 1) = c;
        U = similaridade_aleatoria(c, l);
        Ut = U';

        Fo = zeros(iter,1);

        %primeira simulação, utilizando a matriz U adotada
        V = centroides(X, Ut, x, l, c, m);
        D = distancias(X, V, c, x, l);
        Fo(1,1) = funcObjetivo(Ut, D, c, x, l, m);
        func = Fo(1,1);
        Up = similaridade(D, l, c, x, m);
        Ermax = erro(Ut, Up, c, x, l);

        if Ermax > t
            Ut = Up;

            %método iterativo
            for i = 2:iter
                V = centroides(X, Ut, x, l, c, m);
                D = distancias(X, V, c, x, l);
                Fo(i,1) = funcObjetivo(Ut, D, c, x, l, m);
                Up = similaridade(D, l, c, x, m);
                Ermax = erro(Ut, Up, c, x, l);

                if Ermax > t

```

```

        Ut = Up;
    else
        break
    end
end

end

objFunc = Fo;
matriz_Fo(f, 1) = objFunc(i, 1);

%cálculo dos critérios de parada
Fc = 0;
for a = 1:l
    for b = 1:c
        Fc = Fc + ((Ut(a, b))^2));
    end
end
Fc = Fc/l;
menosFc = 1 - Fc;
matriz_Fc(f, 1) = Fc;
matriz_menosFc(f, 1) = menosFc;
Hc = 0;
for a = 1:l
    for b = 1:c
        Hc = Hc + ((Ut(a, b))*(log(Ut(a, b)))));
    end
end
Hc = - Hc/l;
matriz_Hc(f, 1) = Hc;

U = Ut'; %transpor a matriz Ut para deixá-la com suas dimensões
originais

maxU = max(U);

c = size(U, 1);
groupIndex = zeros(c, 1);

for i = 1:c
    groupMaxes = find(U(i,:) == maxU);

    for j = 1:length(groupMaxes)
        groupIndex(i, j) = groupMaxes(j);
    end
end;

result = zeros(1, size(X, 2));
anos = zeros(1, 1);

for i = 1:c
    for j = 1:size(groupIndex, 2)
        k = groupIndex(i, j);

        if k > 0
            anos(j, 1) = k + 1930;
            result(j,:) = X(k,:);
        else
            break;
        end
    end
end

```



```

        end
    end

    resultado = [anos result];

    result_table = table (resultado);
    sheet_name_Clusters = strcat('c_', num2str(c), '_Cluster ',
num2str(i));
    writetable(result_table, file_name, 'Sheet',
sheet_name_Clusters);

    clear anos;
    clear result;
end

matrizFo(f, 1) = matriz_Fo(f, 1);

Par = [M C matrizFo matriz_Fc matriz_menosFc matriz_Hc]

Par_table = table (Par);
sheet_name_Parametros = strcat('Parametros_table');
writetable(Par_table, file_name_param, 'Sheet',
sheet_name_Parametros);

clear Par;

Fo_table = table (objFunc);
sheet_name_Fo = strcat('c_', num2str(c), '_Fo_table');
writetable(Fo_table, file_name, 'Sheet', sheet_name_Fo);

Fc_table = table (Fc);
sheet_name_Fc = strcat('c_', num2str(c), '_Fc_table');
writetable(Fc_table, file_name, 'Sheet', sheet_name_Fc);

Hc_table = table (Hc);
sheet_name_Hc = strcat('c_', num2str(c), '_Hc_table');
writetable(Hc_table, file_name, 'Sheet', sheet_name_Hc);

U_matrix = table(U);
sheet_name_U = strcat('c_', num2str(c), '_U_matrix');
writetable(U_matrix, file_name, 'Sheet', sheet_name_U);

C_matrix = table(V);
sheet_name_C = strcat('c_', num2str(c), '_C_matrix');
writetable(C_matrix, file_name, 'Sheet', sheet_name_C);
end
end

```

APÊNDICE D – CÓDIGOS DE FUNÇÕES UTILIZADAS

```

                                similaridade_aleatoria.m
function U = similaridade_aleatoria(c, l )
randomMatriz = rand(c, l);
somaRandom = zeros(1, l);
U = zeros(c, l);
soma = 0;
for j = 1:l
    for i = 1:c
        soma = soma + randomMatriz(i, j);
    end
    somaRandom(1, j) = soma;
    soma = 0;
end
for j = 1:l
    for i = 1:c
        U(i,j) = randomMatriz(i,j)/somaRandom(1, j);
    end
end
end

```

```

                                erro.m
function Ermax = erro(Ut, Up, c, x, l)
e = 0;
Er = zeros(1,c);
Ercol = zeros(1, c);
for i = 1:l
    for j = 1:c
        e = abs((Ut(i,j))-(Up(i,j)));
        Er(i,j) = e;
    end
end
Ercol = max(Er);
Ermax = max(Ercol);
end

```

```

                                similaridade.m
function Up = similaridade(D, l, c, x, m)
u = 0;
Up = zeros(1,c);
for j = 1:c
    for i = 1:l
        for k = 1:c
            u = u + ((D(i, j))/(D(i, k)))^(2/(m-1));
        end
        Up(i,j) = 1/u;
        u = 0;
    end
end
end

```

```

                                funcObjetivo.m
function Fo = funcObjetivo(Ut, D, c, x, l)
g = 0;
Fo = 0;

```

```

qn = 0;
dn = 0;
Qn = zeros(1,c);
Dn = zeros(1,c);
Jn = zeros(1,c);
for j = 1:c
    for i = 1:l
        qn = (Ut(i,j))^2;
        dn = (D(i,j))^2;
        Qn(i,j) = qn;
        Dn(i,j) = dn;
    end
end
for j = 1:c
    for i = 1:l
        g = (Qn(i,j)) * (Dn(i,j));
        Jn(i,j) = g;
    end
end
for j = 1:c
    for i = 1:l
        Fo = Fo + Jn(i,j);
    end
end
end
end

```

```

                                distancias.m
function D = distancias(X, V, c, x, l)
D = zeros(1,c);
d = 0;
di = 0;
for k = 1:c
    for i = 1:l
        for j = 1:x
            d = d + ((X(i,j))-(V(k,j)))^2;
        end
        di = d^0.5;
        D(i,k) = di;
        d = 0;
        di = 0;
    end
end
end
end

```

```

                                centroides.m
function V = centroides(X, Ut, x, l, c)
V = zeros(c,x);
q = 0;
s = 0;
if c <= x
    for k = 1:c
        for j = 1:x
            for i = 1:l
                q = q + ((Ut(i, k))^2) * (X(i, j));
                s = s + ((Ut(i, k))^2);
            end
            V(k, j) = q/s;
            q = 0;
            s = 0;
        end
    end
end
end

```

```

        end
    else
        for k = 1:x
            for j = 1:c
                for i = 1:l
                    q = q + ((Ut(i, j))^2) * (X(i, k));
                    s = s + ((Ut(i, j))^2);
                end
                V(j, k) = q/s;
                q = 0;
                s = 0;
            end
        end
    end
end
end

```

difDatas.m

```

function segundos = difDatas(d2, d1)
    d1 = x2mdate(d1,0);
    d2 = x2mdate(d2,0);
    t1 = datevec(d1);
    t2 = datevec(d2);
    segundos = etime(t2, t1);
end

```

APÊNDICE E – INSTANTES DE INÍCIO E FIM DE EXTRAVASAMENTO

Ano	1º		2º		3º	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
1931	12/6/31 16:20	15/6/31 18:25	---	---	---	---
1932	19/4/32 22:12	28/4/32 1:51	---	---	---	---
1935	24/9/35 12:26	6/11/35 18:13	---	---	---	---
1937	19/11/37 2:07	19/11/37 19:00	---	---	---	---
1938	25/6/38 19:55	17/7/38 7:00	---	---	---	---
1939	28/11/39 2:27	28/11/39 12:04	2/12/39 7:00	17/12/39 23:22	---	---
1946	1/2/46 22:41	8/2/46 7:00	10/2/46 14:16	16/3/46 10:22	---	---
1947	24/9/47 21:55	14/10/47 3:31	---	---	---	---
1948	15/8/48 18:09	20/8/48 11:52	---	---	---	---
1950	17/10/50 3:15	24/10/50 19:27	---	---	---	---
1953	31/10/53 13:42	7/11/53 0:30	---	---	---	---
1954	17/5/54 4:28	6/6/54 3:37	---	---	---	---
1955	17/6/55 19:27	23/7/55 17:01	---	---	---	---
1957	1/7/57 13:24	11/7/57 17:21	20/7/57 10:33	7/10/57 5:08	---	---
1961	2/11/61 17:40	17/11/61 1:55	---	---	---	---
1965	11/7/65 5:31	19/7/65 16:28	---	---	---	---
1966	22/2/66 15:00	24/2/66 16:36	---	---	---	---
1970	2/7/70 0:20	13/7/70 4:00	---	---	---	---
1971	26/12/70 22:25	25/1/71 16:52	---	---	---	---
1972	27/8/72 22:52	3/9/72 8:50	27/9/72 21:10	19/10/72 2:18	---	---
1973	28/8/73 17:16	20/9/73 7:00	21/9/73 19:00	23/9/73 7:00	29/9/73 10:17	4/10/73 22:51
1975	4/12/75 8:35	20/12/75 19:00	---	---	---	---
1976	13/6/76 3:34	18/6/76 7:00	---	---	---	---
1979	14/5/79 4:56	21/5/79 2:42	---	---	---	---

Ano	1º		2º		3º	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
1980	2/9/80 9:18	15/9/80 13:02	---	---	---	---
1981	22/12/80 0:00	12/1/81 15:35	---	---	---	---
1982	14/11/82 2:31	11/12/82 5:36	---	---	---	---
1983	19/5/83 20:07	15/8/83 17:07	---	---	---	---
1984	7/8/84 6:20	24/8/84 21:07	---	---	---	---
1987	15/5/87 9:37	6/6/87 15:57	---	---	---	---
1988	23/5/88 10:26	7/6/88 7:40	---	---	---	---
1989	13/9/89 3:26	29/9/89 19:02	---	---	---	---
1990	17/1/90 6:22	5/2/90 12:08	---	---	---	---
1992	28/5/92 2:31	21/6/92 20:42	---	---	---	---
1993	24/9/93 6:42	21/10/93 11:52	---	---	---	---
1995	12/1/95 17:04	4/2/95 23:15	---	---	---	---
1996	10/7/96 3:12	19/7/96 1:12	---	---	---	---
1997	9/10/97 6:22	4/12/97 19:35	---	---	---	---
1998	14/8/98 18:26	6/9/98 6:56	19/9/98 14:57	28/10/98 2:01	---	---
1999	4/7/99 5:43	20/7/99 22:11	---	---	---	---
2000	15/9/00 14:20	3/10/00 8:33	---	---	---	---
2001	1/10/01 23:00	20/10/01 3:36	---	---	---	---
2004	26/10/04 4:05	31/10/04 11:01	---	---	---	---
2005	5/9/05 1:46	30/9/05 8:41	7/10/05 22:20	20/10/05 20:36	29/10/05 6:48	2/11/05 7:03
2007	21/5/07 21:53	4/6/07 15:45	---	---	---	---
2008	30/10/08 2:40	5/11/08 13:12	---	---	---	---
2009	14/9/09 12:32	27/9/09 2:48	27/9/09 7:56	30/10/09 4:38	---	---
2010	24/4/10 4:53	19/5/10 12:46	---	---	---	---
2011	2/8/11 7:46	26/9/11 9:35	---	---	---	---
2012	11/6/12 13:52	28/6/12 11:18	---	---	---	---

Ano	1º		2º		3º	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
2013	22/6/13 20:54	12/7/13 9:41	---	---	---	---
2014	7/6/14 19:48	2/7/14 16:23	---	---	---	---
2015	13/10/15 12:16	30/10/15 17:55	19/11/15 16:27	7/12/15 20:16	---	---

APÊNDICE F – MATRIZ DE INDICADORES DE CHEIA NÃO TRATADOS (MATRIZ X⁰)

Anos	I_1 (m ³ /s)	I_2 (cm)	I_3 (km ³)	I_4 (dias)	I_5 (dias)	I_6 (m ³ /s/dia)	I_7 (m ³ /s/dia)
1931	1453	510	0,014	3,1	6,389	139,9	26,7
1932	1833	584	0,198	8,2	8,634	110,3	77,1
1933	836	373	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1934	820	369	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1935	3267	816	3,207	43,2	13,226	81,3	91,8
1936	1242	468	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1937	1399	499	0,000	0,7	12,797	84,0	24,0
1938	2383	682	1,108	21,5	6,538	162,6	71,1
1939	1717	563	0,265	16,1	27,811	44,5	28,2
1940	568	302	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1941	1268	474	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1942	1198	457	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1943	902	389	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1944	956	402	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1945	1218	462	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1946	2334	673	1,392	40,2	27,654	46,0	78,0
1947	1777	574	0,460	19,2	7,622	108,8	44,0
1948	1443	508	0,015	4,7	31,465	40,1	25,6
1949	804	365	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1950	1610	542	0,088	7,7	7,844	147,1	49,3
1951	1194	456	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1952	1093	434	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1953	1550	530	0,056	6,5	16,279	72,8	34,5
1954	2403	685	1,146	20,0	20,895	58,3	103,0
1955	1985	612	1,225	35,9	8,519	114,6	23,5
1956	1234	466	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1957	2675	728	5,351	88,9	5,267	233,6	26,9
1958	1030	420	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1959	804	365	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1960	1093	434	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1961	1783	575	0,311	14,3	58,445	21,8	33,5
1962	1002	413	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1963	1048	424	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1964	914	392	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1965	1472	514	0,043	8,5	9,939	117,7	19,3
1966	1399	499	0,002	2,1	34,333	30,9	8,6
1967	1210	460	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1968	745	350	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0

Anos	I_1 (m³/s)	I_2 (cm)	I_3 (km³)	I_4 (dias)	I_5 (dias)	I_6 (m³/s/dia)	I_7 (m³/s/dia)
1969	1286	478	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1970	1495	519	0,081	11,2	26,723	46,5	22,2
1971	2429	689	1,595	29,8	17,643	72,6	83,9
1972	1833	584	0,697	27,6	3,661	306,7	109,4
1973	1761	571	0,439	29,6	17,428	61,2	18,7
1974	1022	418	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1975	1711	562	0,267	16,4	17,066	60,6	58,9
1976	1419	503	0,010	5,1	17,857	60,1	8,1
1977	1048	424	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1978	816	368	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1979	1565	533	0,060	6,9	14,914	85,7	36,9
1980	1715	548	0,232	13,2	13,096	74,8	35,5
1981	1887	579	0,603	21,6	24,709	44,2	44,0
1982	2263	645	1,337	27,1	10,814	62,1	62,8
1983	5157	1042	9,689	87,9	32,547	33,0	132,6
1984	1940	594	0,463	17,6	5,973	191,3	35,4
1985	769	347	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1986	1257	459	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1987	2167	628	1,024	22,3	10,109	122,5	83,3
1988	1759	556	0,261	14,9	29,144	41,7	28,5
1989	1887	579	0,546	16,7	5,851	168,7	111,1
1990	2196	633	0,723	19,2	26,974	47,2	87,8
1991	1155	437	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1992	3954	890	3,867	24,8	15,813	72,5	189,1
1993	2786	725	1,769	27,2	19,988	61,2	92,0
1994	1360	480	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
1995	2453	675	1,241	23,3	17,420	63,9	78,0
1996	1555	519	0,065	8,9	23,842	52,5	24,8
1997	2395	666	2,085	56,6	25,974	43,8	19,6
1998	2752	720	3,332	61,0	12,477	75,2	86,4
1999	1833	570	0,460	16,7	24,947	48,0	67,2
2000	2284	649	0,835	17,8	5,306	211,5	111,2
2001	1976	596	0,515	18,2	10,667	98,3	66,4
2002	1162	440	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
2003	1224	454	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
2004	1501	510	0,024	5,3	17,879	70,2	27,3
2005	1897	582	0,765	42,2	6,782	171,4	50,6
2006	581	303	0,000	0,0	0,000	0,0	0,0
2007	1864	577	0,310	13,7	28,621	43,6	42,0
2008	1471	505	0,021	6,4	28,820	40,1	15,9
2009	2050	609	1,156	45,5	11,231	97,5	24,7
2010	2606	700	1,568	25,3	1,912	510,8	108,4
2011	2388	665	1,715	55,1	57,032	21,8	62,2

Anos	I_1 (m³/s)	I_2 (cm)	I_3 (km³)	I_4 (dias)	I_5 (dias)	I_6 (m³/s/dia)	I_7 (m³/s/dia)
2012	1814	568	0,416	16,9	20,286	57,4	52,2
2013	2392	667	1,129	19,5	5,580	194,8	99,3
2014	3386	813	2,868	24,9	22,534	54,3	129,8
2015	1901	583	0,652	35,4	18,220	59,5	79,6

APÊNDICE G – MATRIZ DE INDICADORES DE CHEIA NORMALIZADOS (MATRIZ X)

Ano	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
1931	0,1929	0,2811	0,0014	0,0347	0,1093	0,2740	0,1409
1932	0,2757	0,3811	0,0204	0,0917	0,1477	0,2160	0,4078
1933	0,0585	0,0959	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1934	0,0549	0,0905	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1935	0,5881	0,6946	0,3310	0,4862	0,2263	0,1592	0,4856
1936	0,1469	0,2243	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1937	0,1811	0,2662	0,0000	0,0079	0,2190	0,1645	0,1269
1938	0,3955	0,5135	0,1143	0,2413	0,1119	0,3183	0,3762
1939	0,2503	0,3527	0,0274	0,1808	0,4758	0,0870	0,1491
1940	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1941	0,1525	0,2324	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1942	0,1373	0,2095	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1943	0,0728	0,1176	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1944	0,0846	0,1351	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1945	0,1417	0,2162	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1946	0,3848	0,5014	0,1437	0,4518	0,4732	0,0901	0,4123
1947	0,2635	0,3676	0,0475	0,2162	0,1304	0,2130	0,2329
1948	0,1908	0,2784	0,0016	0,0533	0,5384	0,0785	0,1353
1949	0,0514	0,0851	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1950	0,2271	0,3243	0,0091	0,0863	0,1342	0,2880	0,2609
1951	0,1364	0,2081	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1952	0,1144	0,1784	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1953	0,2140	0,3081	0,0058	0,0725	0,2785	0,1425	0,1822
1954	0,3998	0,5176	0,1183	0,2245	0,3575	0,1142	0,5446
1955	0,3088	0,4189	0,1265	0,4036	0,1458	0,2243	0,1244
1956	0,1451	0,2216	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1957	0,4591	0,5757	0,5523	1,0000	0,0901	0,4574	0,1421
1958	0,1007	0,1595	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1959	0,0514	0,0851	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1960	0,1144	0,1784	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1961	0,2647	0,3689	0,0321	0,1613	1,0000	0,0427	0,1774
1962	0,0946	0,1500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1963	0,1046	0,1649	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1964	0,0755	0,1216	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1965	0,1970	0,2865	0,0045	0,0951	0,1701	0,2304	0,1020

Ano	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
1966	0,1811	0,2662	0,0002	0,0232	0,5875	0,0604	0,0453
1967	0,1399	0,2135	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1968	0,0386	0,0649	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1969	0,1565	0,2378	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1970	0,2021	0,2932	0,0083	0,1254	0,4572	0,0910	0,1175
1971	0,4055	0,5230	0,1646	0,3347	0,3019	0,1421	0,4437
1972	0,2757	0,3811	0,0719	0,3107	0,0626	0,6005	0,5787
1973	0,2599	0,3635	0,0453	0,3328	0,2982	0,1198	0,0987
1974	0,0989	0,1568	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1975	0,2491	0,3514	0,0276	0,1848	0,2920	0,1187	0,3115
1976	0,1855	0,2716	0,0010	0,0578	0,3055	0,1176	0,0428
1977	0,1046	0,1649	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1978	0,0540	0,0892	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1979	0,2173	0,3122	0,0062	0,0777	0,2552	0,1678	0,1952
1980	0,2500	0,3324	0,0239	0,1479	0,2241	0,1464	0,1875
1981	0,2875	0,3743	0,0622	0,2434	0,4228	0,0866	0,2328
1982	0,3694	0,4635	0,1380	0,3050	0,1850	0,1216	0,3322
1983	1,0000	1,0000	1,0000	0,9880	0,5569	0,0646	0,7013
1984	0,2989	0,3946	0,0478	0,1981	0,1022	0,3746	0,1874
1985	0,0437	0,0608	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1986	0,1501	0,2122	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1987	0,3486	0,4405	0,1057	0,2503	0,1730	0,2399	0,4402
1988	0,2595	0,3432	0,0270	0,1674	0,4987	0,0816	0,1509
1989	0,2875	0,3743	0,0563	0,1872	0,1001	0,3302	0,5874
1990	0,3548	0,4473	0,0747	0,2163	0,4615	0,0925	0,4642
1991	0,1280	0,1824	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1992	0,7378	0,7946	0,3991	0,2784	0,2706	0,1419	1,0000
1993	0,4834	0,5716	0,1826	0,3060	0,3420	0,1198	0,4866
1994	0,1726	0,2405	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1995	0,4109	0,5041	0,1281	0,2615	0,2981	0,1251	0,4122
1996	0,2150	0,2932	0,0067	0,1003	0,4079	0,1028	0,1310
1997	0,3982	0,4919	0,2152	0,6358	0,4444	0,0858	0,1035
1998	0,4759	0,5649	0,3438	0,6857	0,2135	0,1472	0,4569
1999	0,2757	0,3622	0,0475	0,1876	0,4268	0,0941	0,3555
2000	0,3740	0,4689	0,0862	0,1997	0,0908	0,4140	0,5881
2001	0,3068	0,3973	0,0532	0,2045	0,1825	0,1925	0,3513
2002	0,1295	0,1865	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2003	0,1429	0,2054	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2004	0,2033	0,2811	0,0025	0,0595	0,3059	0,1374	0,1443
2005	0,2896	0,3784	0,0790	0,4748	0,1160	0,3355	0,2676

Ano	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
2006	0,0028	0,0014	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2007	0,2824	0,3716	0,0320	0,1545	0,4897	0,0854	0,2219
2008	0,1967	0,2743	0,0022	0,0724	0,4931	0,0786	0,0841
2009	0,3230	0,4149	0,1193	0,5111	0,1922	0,1909	0,1304
2010	0,4440	0,5378	0,1618	0,2848	0,0327	1,0000	0,5732
2011	0,3967	0,4905	0,1770	0,6192	0,9758	0,0426	0,3287
2012	0,2714	0,3595	0,0429	0,1899	0,3471	0,1125	0,2758
2013	0,3974	0,4932	0,1165	0,2196	0,0955	0,3813	0,5253
2014	0,6140	0,6905	0,2960	0,2795	0,3856	0,1063	0,6866
2015	0,2905	0,3797	0,0673	0,3980	0,3117	0,1165	0,4210

APÊNDICE H – MATRIZ DE PARTIÇÃO DIFUSA FINAL (U)

ANO	Grau de aderência ao grupo 1	Grau de aderência ao grupo 2	Grau de aderência ao grupo 3	Grau de aderência ao grupo 4
1931	0,4696	0,4526	0,0777	0,0001
1932	0,0013	0,0389	0,9597	0,0000
1933	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1934	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1935	0,0000	0,0001	0,0025	0,9974
1936	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1937	0,1215	0,8732	0,0053	0,0000
1938	0,0000	0,0001	0,9999	0,0000
1939	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
1940	0,9999	0,0001	0,0000	0,0000
1941	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1942	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1943	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1944	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1945	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1946	0,0006	0,1130	0,8419	0,0445
1947	0,0031	0,1092	0,8876	0,0000
1948	0,0001	0,9998	0,0001	0,0000
1949	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1950	0,0305	0,3978	0,5716	0,0001
1951	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1952	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1953	0,0003	0,9992	0,0004	0,0000
1954	0,0002	0,0185	0,9789	0,0024
1955	0,0037	0,0829	0,9128	0,0007
1956	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1957	0,0056	0,0200	0,1228	0,8516
1958	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1959	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1960	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1961	0,0101	0,9354	0,0479	0,0066
1962	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1963	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1964	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1965	0,1378	0,8343	0,0279	0,0000
1966	0,0018	0,9974	0,0008	0,0000

ANO	Grau de aderência ao grupo 1	Grau de aderência ao grupo 2	Grau de aderência ao grupo 3	Grau de aderência ao grupo 4
1967	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1968	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1969	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1970	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
1971	0,0000	0,0017	0,9977	0,0006
1972	0,0017	0,0108	0,9840	0,0035
1973	0,0012	0,9749	0,0239	0,0000
1974	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1975	0,0002	0,9525	0,0473	0,0000
1976	0,0096	0,9899	0,0005	0,0000
1977	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1978	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1979	0,0010	0,9968	0,0022	0,0000
1980	0,0012	0,9890	0,0098	0,0000
1981	0,0000	0,9991	0,0009	0,0000
1982	0,0000	0,0011	0,9988	0,0000
1983	0,0009	0,0036	0,0108	0,9848
1984	0,0043	0,0530	0,9426	0,0001
1985	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1986	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1987	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
1988	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
1989	0,0003	0,0030	0,9966	0,0002
1990	0,0005	0,3536	0,6443	0,0015
1991	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1992	0,0005	0,0035	0,0353	0,9606
1993	0,0001	0,0107	0,9639	0,0252
1994	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1995	0,0000	0,0034	0,9965	0,0001
1996	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
1997	0,0080	0,3404	0,4733	0,1783
1998	0,0000	0,0004	0,0132	0,9863
1999	0,0001	0,9819	0,0180	0,0000
2000	0,0002	0,0017	0,9976	0,0005
2001	0,0000	0,0022	0,9978	0,0000
2002	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2003	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2004	0,0004	0,9995	0,0001	0,0000
2005	0,0004	0,0061	0,9932	0,0003

ANO	Grau de aderência ao grupo 1	Grau de aderência ao grupo 2	Grau de aderência ao grupo 3	Grau de aderência ao grupo 4
2006	0,9999	0,0001	0,0000	0,0000
2007	0,0000	0,9999	0,0000	0,0000
2008	0,0001	0,9999	0,0001	0,0000
2009	0,0043	0,1143	0,8782	0,0032
2010	0,0152	0,0587	0,8170	0,1092
2011	0,0098	0,4086	0,2203	0,3612
2012	0,0000	0,9979	0,0021	0,0000
2013	0,0000	0,0005	0,9994	0,0002
2014	0,0002	0,0039	0,0664	0,9294
2014	0,0001	0,0221	0,9775	0,0002

ANEXO A – CURVA DE DESCARGA NATURAL DA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA UNIÃO DA VITÓRIA (65310000)

Leitura de Régua	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	10,10	10,96	11,82	12,68	13,54	14,40	15,26	16,12	16,98	17,84
110	18,70	19,91	21,12	22,33	23,54	24,75	25,96	27,17	28,38	29,59
120	30,80	32,37	33,94	35,51	37,08	38,65	40,22	41,79	43,36	44,93
130	46,50	48,43	50,36	52,29	54,22	56,15	58,08	60,01	61,94	63,87
140	65,80	68,05	70,30	72,55	74,80	77,05	79,30	81,55	83,80	86,05
150	88,30	90,87	93,44	96,01	98,58	101,15	103,72	106,29	108,86	111,43
160	114,00	116,80	119,60	122,40	125,20	128,00	130,80	133,60	136,40	139,20
170	142,00	144,90	147,80	150,70	153,60	156,50	159,40	162,30	165,20	168,10
180	171,00	174,10	177,20	180,30	183,40	186,50	189,60	192,70	195,80	198,90
190	202,00	205,10	208,20	211,30	214,40	217,50	220,60	223,70	226,80	229,90
200	233,00	236,10	239,20	242,30	245,40	248,50	251,60	254,70	257,80	260,90
210	264,00	267,20	270,40	273,60	276,80	280,00	283,20	286,40	289,60	292,80
220	296,00	299,10	302,20	305,30	308,40	311,50	314,60	317,70	320,80	323,90
230	327,00	330,20	333,40	336,60	339,80	343,00	346,20	349,40	352,60	355,80
240	359,00	362,50	366,00	369,50	373,00	376,50	380,00	383,50	387,00	390,50
250	394,00	397,40	400,80	404,20	407,60	411,00	414,40	417,80	421,20	424,60
260	428,00	431,20	434,40	437,60	440,80	444,00	447,20	450,40	453,60	456,80
270	460,00	463,30	466,60	469,90	473,20	476,50	479,80	483,10	486,40	489,70
280	493,00	496,40	499,80	503,20	506,60	510,00	513,40	516,80	520,20	523,60
290	527,00	530,40	533,80	537,20	540,60	544,00	547,40	550,80	554,20	557,60
300	561,00	564,50	568,00	571,50	575,00	578,50	582,00	585,50	589,00	592,50
310	596,00	599,70	603,40	607,10	610,80	614,50	618,20	621,90	625,60	629,30
320	633,00	636,60	640,20	643,80	647,40	651,00	654,60	658,20	661,80	665,40
330	669,00	672,80	676,60	680,40	684,20	688,00	691,80	695,60	699,40	703,20
340	707,00	710,80	714,60	718,40	722,20	726,00	729,80	733,60	737,40	741,20
350	745,00	748,90	752,80	756,70	760,60	764,50	768,40	772,30	776,20	780,10
360	784,00	788,00	792,00	796,00	800,00	804,00	808,00	812,00	816,00	820,00
370	824,00	828,10	832,20	836,30	840,40	844,50	848,60	852,70	856,80	860,90
380	865,00	869,10	873,20	877,30	881,40	885,50	889,60	893,70	897,80	901,90
390	906,00	910,20	914,40	918,60	922,80	927,00	931,20	935,40	939,60	943,80
400	948,00	952,20	956,40	960,60	964,80	969,00	973,20	977,40	981,60	985,80
410	990,00	994,00	998,00	1002,00	1006,00	1010,00	1014,00	1018,00	1022,00	1026,00
420	1030,00	1034,50	1039,00	1043,50	1048,00	1052,50	1057,00	1061,50	1066,00	1070,50
430	1075,00	1079,50	1084,00	1088,50	1093,00	1097,50	1102,00	1106,50	1111,00	1115,50
440	1120,00	1125,00	1130,00	1135,00	1140,00	1145,00	1150,00	1155,00	1160,00	1165,00
450	1170,00	1174,00	1178,00	1182,00	1186,00	1190,00	1194,00	1198,00	1202,00	1206,00
460	1210,00	1214,00	1218,00	1222,00	1226,00	1230,00	1234,00	1238,00	1242,00	1246,00

Leitura de Régua	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
470	1250,00	1254,50	1259,00	1263,50	1268,00	1272,50	1277,00	1281,50	1286,00	1290,50
480	1295,00	1300,00	1305,00	1310,00	1315,00	1320,00	1325,00	1330,00	1335,00	1340,00
490	1345,00	1351,00	1357,00	1363,00	1369,00	1375,00	1381,00	1387,00	1393,00	1399,00
500	1405,00	1409,80	1414,60	1419,40	1424,20	1429,00	1433,80	1438,60	1443,40	1448,20
510	1453,00	1457,70	1462,40	1467,10	1471,80	1476,50	1481,20	1485,90	1490,60	1495,30
520	1500,00	1505,00	1510,00	1515,00	1520,00	1525,00	1530,00	1535,00	1540,00	1545,00
530	1550,00	1555,00	1560,00	1565,00	1570,00	1575,00	1580,00	1585,00	1590,00	1595,00
540	1600,00	1605,00	1610,00	1615,00	1620,00	1625,00	1630,00	1635,00	1640,00	1645,00
550	1650,00	1655,00	1660,00	1665,00	1670,00	1675,00	1680,00	1685,00	1690,00	1695,00
560	1700,00	1705,50	1711,00	1716,50	1722,00	1727,50	1733,00	1738,50	1744,00	1749,50
570	1755,00	1760,50	1766,00	1771,50	1777,00	1782,50	1788,00	1793,50	1799,00	1804,50
580	1810,00	1815,80	1821,60	1827,40	1833,20	1839,00	1844,80	1850,60	1856,40	1862,20
590	1868,00	1873,70	1879,40	1885,10	1890,80	1896,50	1902,20	1907,90	1913,60	1919,30
600	1925,00	1930,00	1935,00	1940,00	1945,00	1950,00	1955,00	1960,00	1965,00	1970,00
610	1975,00	1980,00	1985,00	1990,00	1995,00	2000,00	2005,00	2010,00	2015,00	2020,00
620	2025,00	2031,00	2037,00	2043,00	2049,00	2055,00	2061,00	2067,00	2073,00	2079,00
630	2085,00	2091,00	2097,00	2103,00	2109,00	2115,00	2121,00	2127,00	2133,00	2139,00
640	2145,00	2151,00	2157,00	2163,00	2169,00	2175,00	2181,00	2187,00	2193,00	2199,00
650	2205,00	2211,00	2217,00	2223,00	2229,00	2235,00	2241,00	2247,00	2253,00	2259,00
660	2265,00	2270,30	2275,60	2280,90	2286,20	2291,50	2296,80	2302,10	2307,40	2312,70
670	2318,00	2323,20	2328,40	2333,60	2338,80	2344,00	2349,20	2354,40	2359,60	2364,80
680	2370,00	2376,50	2383,00	2389,50	2396,00	2402,50	2409,00	2415,50	2422,00	2428,50
690	2435,00	2441,50	2448,00	2454,50	2461,00	2467,50	2474,00	2480,50	2487,00	2493,50
700	2500,00	2506,24	2512,48	2518,72	2524,96	2531,20	2537,44	2543,68	2549,92	2556,16
710	2562,40	2568,64	2574,88	2581,12	2587,36	2593,60	2599,84	2606,08	2612,32	2618,56
720	2624,80	2631,04	2637,28	2643,52	2649,76	2656,00	2662,24	2668,48	2674,72	2680,96
730	2687,20	2693,44	2699,68	2705,92	2712,16	2718,40	2724,64	2730,88	2737,12	2743,36
740	2749,60	2755,84	2762,08	2768,32	2774,56	2780,80	2787,04	2793,28	2799,52	2805,76
750	2812,00	2818,76	2825,52	2832,28	2839,04	2845,80	2852,56	2859,32	2866,08	2872,84
760	2879,60	2886,36	2893,12	2899,88	2906,64	2913,40	2920,16	2926,92	2933,68	2940,44
770	2947,20	2953,96	2960,72	2967,48	2974,24	2981,00	2987,76	2994,52	3001,28	3008,04
780	3014,80	3021,56	3028,32	3035,08	3041,84	3048,60	3055,36	3062,12	3068,88	3075,64
790	3082,40	3089,16	3095,92	3102,68	3109,44	3116,20	3122,96	3129,72	3136,48	3143,24
800	3150,00	3157,30	3164,60	3171,90	3179,20	3186,50	3193,80	3201,10	3208,40	3215,70
810	3223,00	3230,30	3237,60	3244,90	3252,20	3259,50	3266,80	3274,10	3281,40	3288,70
820	3296,00	3303,30	3310,60	3317,90	3325,20	3332,50	3339,80	3347,10	3354,40	3361,70
830	3369,00	3376,30	3383,60	3390,90	3398,20	3405,50	3412,80	3420,10	3427,40	3434,70
840	3442,00	3449,30	3456,60	3463,90	3471,20	3478,50	3485,80	3493,10	3500,40	3507,70
850	3515,00	3522,30	3529,60	3536,90	3544,20	3551,50	3558,80	3566,10	3573,40	3580,70
860	3588,00	3595,30	3602,60	3609,90	3617,20	3624,50	3631,80	3639,10	3646,40	3653,70
870	3661,00	3668,30	3675,60	3682,90	3690,20	3697,50	3704,80	3712,10	3719,40	3726,70
880	3734,00	3741,30	3748,60	3755,90	3763,20	3770,50	3777,80	3785,10	3792,40	3799,70
890	3807,00	3814,30	3821,60	3828,90	3836,20	3843,50	3850,80	3858,10	3865,40	3872,70

